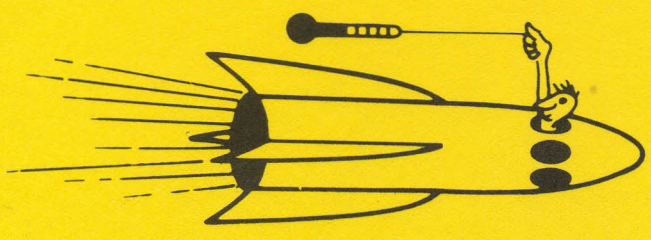
Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP



Sammenhengen mellom akselerasjon og temperatur.
(Se side 80.)

INNHOLD

Jonatan Aars, in memoriam	73
Fra redaktørene	73
Helping developing countries	73
Nobelprisen i fysikk, 1983	74
Norsk akseleratorbasert kjernefysikk 50 år	75
Trondheim Workshop i teoretisk fysikk, 1983	76
Aspects forsøg	77
Kan vakuum være varmt?	80
Hvordan blev brydningsloven opdaget?	85
Swimming bacteria...	87
God fagdidaktikk	91
Brev fra leserne	93
University of Bradford	93
Fysikk-konkurranseeksperiment i Trondheim	94
Victor Francis Hess	95
Nytt fra institusjonene	95
Nye medlemmer	96
Bøker	96

Nr. 4 - 1983

Institutt for energiteknikk

KURSSENTERET

KURS I DATABEHANDLING

Følgende kurs vil bli avholdt i vårsemesteret 1984:

23.01 - 10.02	COBOL I	søknadsfrist 12.12 1983
13.02 - 24.02	COBOL II	søknadsfrist 02.01 1984
27.02 - 16.03	FORTRAN	søknadsfrist 16.01 1984
26.03 - 06.04	PASCAL	søknadsfrist 13.02 1984

Det vises også til Forbruker- og administrasjonsdepartementets kurskatalog for 1984.

KURSAVGIFTEN er kr. 2.000,- pr. uke for deltagere fra offentlige institusjoner
kr. 3.000,- pr. uke for deltagere fra private bedrifter

Nærmere opplysninger
Kurssekretær Gerd Jarrett
Kurssenteret
Institutt for energiteknikk
Boks 40, 2007 Kjeller

Telefon (02) 71 25 60

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 4 - 1983

Redaktører: KNUT JOSTEIN KNUTSEN og HANS KOLBENSTVEDT
Redakjsonssekretær: HALVARD TORGERSEN

45. årgang
ISSN-0015-9247

JONATAN AARS in memoriam 1896-1983

Jonatan Aars døde i vår. I undervisningen og instituttarbeidet ved Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo var han en markant personlighet, og han hadde vel knapt selv tall på alle de hovedfagsstudenter i fysikk som har gått gjennom hans laboratoriekurs i fysikk.

Aars' forskningsvirksomhet falt innen området spektroskopi og gassutladningsfysikk. I 1930-31 oppholdt han seg ved det verdenskjente fysiske institutt i Gøttingen, et opphold som ble ham til stor inspirasjon og glede, selv om han siden her hjemme neppe fikk de arbeidsmuligheter han burde hatt. Til hinder for dette stillet undervisningsbyrdene og den aldri sviktende pliktfølelse overfor instituttet og studentene seg. Aars har satt markante spor etter seg på alle de områder han har fått utfolde seg. I tjenestemannsorganisasjonene nedla han i en lang årrekke et kjempearbeid. Aars var den første formann i Forskerforbundets forløper, Fellesrådet for vitenskapelige embets- og tjenestemenn, som ble dannet i 1955. I 1975 ble Fellesrådet til Norsk Forskerforbund og Aars ble valgt som forbundets første æresmedlem. Ved Fysisk Institutt var han også formann ved fysikkseksjonen i mange år. Dette var i en periode med en rivende utvikling ved instituttet, og han var i alt dette en av de som sterkest medvirket til sikring av de vitenskapelige tjenestemenns arbeidsvilkår og medbestemmelsesrett ved universitetet, et arbeid som har båret rike frukter. Han var i lang tid tjenestemennenes representant i Det Akademiske Kollegium. Han har også nedlagt seg store fortjenester på andre områder. Særlig bør kanskje nevnes hans arbeid med standardiseringsproblemer, der hans innsikt som fysiker og store nøyaktighet har vært av uvurderlig nytte. Også Norsk Fysisk Selskap og Fysikkforeningen i Oslo såvel som dette tidsskrift, har trukket veksler på Aars' usvikelige interesse og arbeidskraft. For sin store innsats for norsk fysikk ble Aars i 1956 tildelt Kongens fortjenestemedalje i gull.

For dem som kom til Fysisk Institutt som unge studenter og assistenter var Aars en institusjon og et fast merke i en ny og spennende tilværelse. Hans vennlige hjelpsomhet sviktet aldri når problemene oppsto, enten de var av vitenskapelig, pedagogisk, organisasjonsmessig eller annen, praktisk natur.

FRA REDAKTØRENE

Fysikklærebøker som skal brukes i Ungdomsskolen og i Den videregående skolen, må godkjennes av henholdsvis Grunnskolerådet og Rådet for videregående opplæring. Dette skulle man tro måtte være en meget betryggende ordning. Dessverre viser det seg at man finner de samme personer som konsulenter i rådene, som konsulenter i forlagene, som lærebokforfattere etc. etc. Store deler av denne virksomheten foregår naturlig nok nærmest i hemmelighet og det må nedlegges et betydelig arbeid for å få avdekket forholdene. Det har lyktes oss å trenge til bunns i et par tilfeller av slik dobbeltvirksomhet, og vi er av den mening at det snarest må ryddes opp i disse forholdene.

HELPING DEVELOPING COUNTRIES

The International Centre for Theoretical Physics in Trieste has renewed its appeal for help in supplying libraries of universities in developing countries with back issues of journals and copies of physics books. Previous appeals have produced an encouraging response, but the need is great and conti-

nual. Little improvement is to be seen in the funding available for scientific information and frequently inflation and balance of payments' difficulties cause a deterioration in real terms so that the information deficit steadily rises even if a nucleus has, at one time, been established.

Colleagues in the more fortunate countries do not have illimited resources but they are, in the main, able to keep pace with current literature - if they can find somewhere to put it. Many physicists and libraries find their shelves packed with old journals and text books that they cannot bear to throw away, primarily, because they are still in good condition. These are what ICTP would like to direct towards the needy.

There is a similar market for redundant laboratory apparatus. Schools and universities accumulate equipment which has become obsolete because of changes in curricula, changes in teaching style, etc. but which could find a second life if only there were a means of directing it towards those in want.

This exists: For journals, books and apparatus, ICTP has established a coordination centre which will inform potential donors of the acceptability of their offer and the place to which the material concerned should be sent. If you have in physics and mathematics any textbooks you no longer use, volumes of journals that are taking up valuable space, or apparatus that is only gathering dust, write to:

Professor H.R. DALAFI
International Centre for Theoretical Physics POB 586
I-34100 Trieste

giving him details of what you are prepared to donate. He will then explain what should be done.

NOBELPRISEN I FYSIKK, 1983

*Erlend Østgaard *)*

Nobelprisen i fysikk for 1983 er tildelt Subrahmanyan Chandrasekhar, University of Chicago, og William A. Fowler, California Institute of Technology, for deres arbeider i forbindelse med stjerners «liv og død», dvs. studier av prosesser i stjerners indre (under utvikling fra proto-stjerne via hovedserien og rød-kjempe-stadiet til hvit dverg, nøytronstjerne eller «svart hull»).

S. Chandrasekhar er kanskje mest kjent for den såkalte Chandrasekhar-grensen for en hvit dvergs maksimale masse. Ved å anvende dengang moderne teorier som kvantemekanikk (Fermi-Dirac kvantestatistikk) og spesiell relativitetsteori fant Chandrasekhar allerede ca. 1930 at stjerner med mindre masse enn en viss kritisk verdi, den såkalte Chandrasekhar-grensen, kan ende sitt liv som hvite dverger, mens stjerner med større masse må bli til noe annet, som vi idag tror kan være nøytronstjerner eller svarte hull. Chandrasekhars «prestasjon» blir enda større når vi vet at han ble sterkt imøtegått, kritisert og nesten «latterliggjort» av den verdensberømte astrofysikeren Sir Arthur Stanley Eddington som hadde sine egne meninger om «the internal constitution of the stars» . . . Chandrasekhars ideer ble f.eks. «slaktet» på et berømt møte i The Royal Astronomical Society i januar 1935, og Eddingtons innflytelse var så stor at mange astronomer «tvilte» på Chandrasekhars resultater helt fram til ca. 1950.

Hvite dverger er stjerner som er små og «unormalt» lyssvake i forhold til deres hvite farge (som antyder høy temperatur), og de mangler lysstyrke fordi «brennstoffet» (f.eks. hydrogen) for fusjonsprosesser i det indre er oppbrukt. Som et utbrent slutt-stadium i en stjernes liv består hvite dverger da hovedsakelig av helium (og eventuelt tyngre grunnstoffer), og energikilden for den lille lysstyrken er hovedsakelig gravitasjonsenergi frigjort ved en langsom sammentrekning av stjernen. Typiske data for en slik stjerne er; masse ca. en solmasse M_S, sentral tetthet ca. 10^7 g/cm^3, og indre temperatur ca. 10^7K. En hvit dverg har altså høy temperatur og enorm tetthet (dvs. ekstremt høyt trykk), slik at heliumatomene er fullstendig ioniserte, og stjernen kan betraktes som en gass av heliumkjerner (og tyngre atomkjerner) og elektroner. Siden Fermi-temperaturen $T_F \approx 10^{11}$K er mye høyere enn stjernens «virkelige» temperatur $T \approx 10^7$K, kan elektrongassen betraktes som et «lav-temperatur»-system, dvs. som en ideell Fermi gass i grunntilstanden som må behandles relativistisk på grunn av den enorme tettheten. Det store trykket i elektrongassen balanseres av gravitasjonsbinding på grunn av heliumkjernene, dvs. likevektsbetingelsen for stjernen blir (i første approksimasjon) at trykket i elektrongassen (på grunn av eksklusjonsprinsippet) ved likevekt skal balansere gravitasjonskreftene. Denne modellen gir nå det bemerkelsesverdige resultat at sammenhengen mellom masse M og radius R i en slik stjerne er gitt ved

$$R \sim M^{1/3}\sqrt{1-(M/M_0)^{2/3}}$$

der M_0 er Chandrasekhar-grensen

$$M_0 \approx 1.4\ M_S$$

Vi ser at $R \to 0$ når $M \to M_0$, og ingen hvit dverg kan ha større masse enn M_0 (ellers får vi imaginær radius). Den fysikalske forklaring på dette er at en større masse vil gi videre gravitasjonskollaps, da trykket i elektrongassen ikke vil være tilstrekkelig til å stå imot. Alle hvite dverger må altså ha mindre masse enn M_0, og dette er bekreftet (ikke motbevist)

av astronomiske observasjoner. Hva skjer så med stjerner som har større masse enn M_0? Jo, de ender sannsynligvis i en supernova, dvs. en gravitasjonskollaps der sluttproduktet blir en nøytronstjerne eller et svart hull . . .

W. A. Fowler er kanskje mest kjent for sitt arbeid i forbindelse med hvordan de forskjellige grunnstoffene er skapt i stjerners indre i universet. En «vanlig» stjerne med en indre temperatur på ca. 10^7K bruker først hydrogen som «brennstoff» i en fusjonsprosess der sluttproduktet er helium. Etter at hydrogen er oppbrukt kan stjernen bli en rød kjempe, og fusjonsforbrenning av helium kan starte ved ca. 10^8K hvis temperaturen (dvs. trykk og tetthet) i det sentrale området blir tilstrekkelig høy. Resultatet blir karbon eller oksygen, og etter at helium er oppbrukt kan f.eks. karbon-forbrenning starte ved ca. $6 \cdot 10^8$K og oksygenforbrenning ved ca. $2 \cdot 10^9$K. Slik kan vi fortsette prinsipielt til vi får jern- (eller nikkel-) isotoper som har maksimal bindingsenergi pr. nukleon. Men ved ca. $5 \cdot 10^9$K er alle nukleære energikilder oppbrukt, vi kan ikke lenger få frigjort energi ved fusjonsprosesser, og «evolusjonsprosessene» fortsetter ved hjelp av gravitasjonsenergi. Vi får da en «voldsom» gravitasjonskollaps som utløser en supernova-eksplosjon der en del av stjernens masse «slynges» ut i verdensrommet og etterlater en del av stjernen som en forholdsvis liten «kjerne» med enorm tetthet, dvs. en nøytronstjerne (eller et svart hull).

Vi skal ikke diskutere dette videre i detalj her, men i forbindelse med fusjonsprosesser og eventuelt påfølgende supernova-eksplosjoner kan vi spørre hvordan de forskjellige grunnstoffene i universet har blitt dannet. Hvis universet hovedsakelig startet med bare hydrogen og eventuelt noe helium (som vi tror), hvordan fikk (får) vi dannet tyngre grunnstoffer? Vi har sett at fusjonsprosesser i stjerner kan forklare dannelsen av visse grunnstoffer opp til jern i det periodiske system, og andre (mellomliggende) grunnstoffer kan dannes fra disse igjen ved andre kjernereaksjoner.

Slike atomer (ioner, atomkjerner) kan vi så tenke oss «forlater» stjernene på en eller annen måte. Men hvordan kan vi få dannet grunnstoffer tyngre enn jern (der vi prinsipielt må ha fisjonsprosesser istedenfor fusjonsprosesser for å få omformet masse til andre energiformer)? En mulig forklaring er at vi f.eks. får produsert store mengder nøytroner som kombinerer med atomkjerner i en supernova under dannelsen av en nøytronstjerne. De nye atomkjernene blir ekstra nøytron-rike og ustabile, og spaltes f.eks. ved β-desintegrasjon til stabile atomkjerner av tyngre grunnstoffer. Vi får da stabile kjerner med høyere protontall og lavere nøytrontall enn de ustabile kjernene. Hvis de tyngre grunnstoffene på jorda f.eks. er dannet på denne måten, antyder det at sola er en «andre-generasjons» (eller yngre) stjerne slik at planetene i solsystemet (og sola) er dannet av interstellar materie produsert i stjerner som allerede er «døde» (f.eks. eksploderte supernovaer, osv.) i tillegg til den «opprinnelige» interstellare gass av hydrogen og helium. Dette betyr igjen at universet må være en god del eldre enn sola og sol-systemet.

Referanser:

S. Chandrasekhar; Month. Not. Roy. Astron. Soc. 95 (1935) 207, 226; Am. Journ. Phys. 37 (1969) 577.

W. A. Fowler: Scientific American 195, Sept. (1956) 82; Proc. Nat. Acad. Sci. 52 (1964) 524.

E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, W. A. Fowler and F. Hoyle; Rev. Mod. Phys. 29 (1957) 547.

K. C. Wali; Physics Today 35, Oct. (1982) 33.

J. Maddox; Nature 305 (1983) 759.

*) Fysisk Institutt UNIT/NLHT.

NORSK AKSELERATOR-BASERT KJERNEFYSIKK 50 ÅR

Olav Aspelund *

den 8. april 1937

Attest

Ingeniør Wilhelm E. Ramm har vært ansatt ved Fysisk Institutt som min privatassistent fra våren 1934 til høsten 1936 da han overtok sin nuværende stilling som assistentingeniør ved Høiskolens Svakstrømsavdeling. Ved siden av denne stilling arbeider han i sin fritid fremdeles her ved Fysisk Institutt.

Ingeniør Ramm har vært beskjeftiget med å bygge et anlegg for atomspaltning. Anlegget som bl.a. består av en høispenningsgenerator av Van der Graaff-typen, utladningsrør, et større pumpeanlegg for høivakuum, ionekilde med separator, er nu på det nærmeste ferdig. Dette arbeide som har budt på store vanskeligheter både konstruktivt og elektrisk sett, er i sin helhet utført av ingeniør Ramm, som har løst oppgaven til min fulle tilfredshet.

Sommeren 1935 var ingeniør Ramm og ingenør Westin på en 2 måneders studiereise for Fysisk Institutt i England, hvor flere Universiteter og flere ledende elektriske fabrikker og deres laboratorier blev besøkt.

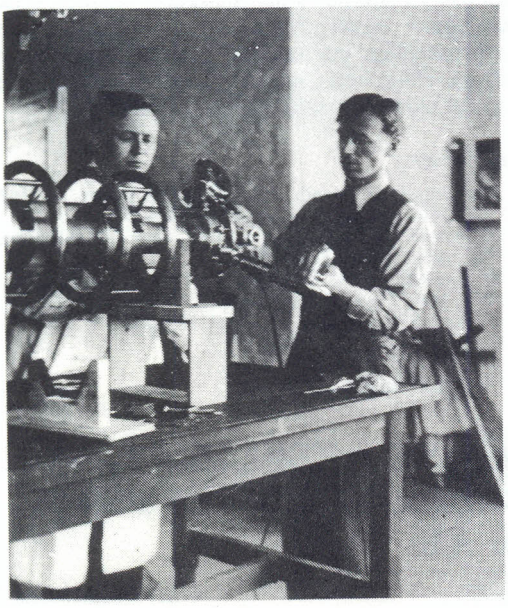
Sammen med ingeniør Westin har han også utgitt et arbeide, «Arbeitsmethoden der Hochvakuumtechnik», hvor bl.a. er offentliggjort nogen nye målinger over vakuumpumpers pumpehasttighet.

Samarbeidet med ingeniør Ramm har hele tiden vært meget behagelig, og det har vært det beste forhold mellem ham og det øvrige personale. Han arbeider omhyggelig og selvstendig og samtidig raskt, og det er mig en glede å gi ham min beste anbefaling.

J. Holtsmark
(sign.)

Hosstående dokument viser at i 1984 er det 50 år siden en satte i gang arbeidet med å bygge en *Van de Graaff-generator* i Fysisk Institutt ved Norges Tekniske Høgskole. Initiativet ble tatt av daværende professor i fysikk ved NTH, *Johan Peter Holtsmark*. I dag vet ingen med sikkerhet hvordan og hvorfor han kom til å innse at også Norge burde gjøre seg gjeldende innen en nærmest nyfødt vitenskap som kjernefysikken den gangen var. Alt taler imidlertid for at Holtsmark hadde hentet viktige im-

*) Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.



Odd Dahl og Wilhelm Ernst Ramm monterer akselerasjonsrøret på landets første Van de Graaff-generator.

pulser gjennom personlige kontakter med miljøene i København og Cambridge, der ledende fysikere som *Niels Henrik David Bohr* og *Ernest Rutherford* på respektive steder tidlig hadde forstått at partikkelakseleratorene ville bli uunnværlige instrumenter i arbeidet med å utforske kjernekreftenes natur. Johan Holtsmark's evne til raskt å oppfatte i hvilken retning de vitenskapelige vindene blåste, belyses best ved å huske at *Robert Jemison Van de Graaff*'s første publikasjon vedrørende den akseleratortypen som siden bærer navnet hans, fins på side 1919 i *Physical Review*'s nr. 38 for 1931.

Etter å ha gjort en formidabel innsats for å skaffe midler til ovennevnte akseleratorprosjekt - bl.a. trådte flere forsikringsselskaper støttende til - var professor Holtsmark våren 1934 kommet så langt at han kunne ansette en nyutdannet elektroingeniør, *Wilhelm Ernst Ramm,* som sin privatassistent. Wilhelm E. Ramm's arbeidsoppgaver på landets første akseleratorprosjekt er så presist definert i den attesten som Holtsmark skrev etter at Ramm høsten 1936 hadde gått over i annen virksomhet, at det bare står tilbake å nevne at ingen ringere enn *Odd Dahl* kom til å hjelpe til under arbeidets gang. *Oseanografen Harald Ulrik Sverdrup* hadde fått Dahl over til Bergen fra Department of Terrestrial Magnetism ved Carnegie Institution of Washington D.C., fordi han var kritisk avhengig av Dahl's praktiske ferdighet. Odd Dahl's Norges-opphold varte bare ca. 2 måneder, men han rakk likevel å tilbringe en ukes tid i Trondheim, der han var Wilhelm E. Ramm behjelpelig med å montere selve akselerasjonsrøret. Iflg. Ramm må dette ha vært i 1935.

Norsk kjernefysikks historie er ikke skrevet enda, men det er et gledelig faktum at Wilhelm E. Ramm's attest dokumenterer når det er på tide å feire 50-årsjubiléet. For oss nordmenn er det spesielt interessant å legge merke til at også på en europeisk tidsskala var vi tidlig ute her i landet. Det hører ellers med til saken at Wilhelm E. Ramm er i beste velgående, og at han sikkert ikke er uvillig til å besvare spørsmål vedrørende norsk akseleratorbasert kjernefysikks pionérår. Gjenlevende fra denne viktige perioden i norsk fysikk er foruten *overingeniør Wilhelm Ernst Ramm* også *professorene Roald Tangen, Harald Nicolai Storm Wergeland* og *Sverre Westin.* Under *professor Johan Peter Holtsmark's* framsynte ledelse kom disse fire til å markere begynnelsen på et nytt kapitel i norsk vitenskapshistorie.

Etter undertegnedes oppfatning bør norsk akseleratorbasert kjernefysikks 50-årsjubileum markeres på en måte som viser hvilken enorm utvikling det har vært innen denne vitenskapen etter at pionérarbeidet ble gjort ved Norges Tekniske Høgskole.

TRONDHEIM WORKSHOP I TEORETISK FYSIKK, 1983

Noen av deltakerne i Trondheim Workshop 1983.

I dagene 13.-17. juni i år ble det med støtte fra Interimsstyret for Universitetet i Trondheim arrangert Trondheim workshop i teoretisk fysikk, 1983. Det Fysiske Seminar i Trondheim, Fysisk institutt, UNIT/NLHT og Institutt for teoretisk fysikk UNIT/NTH sto som arrangører i samarbeid med Norsk Fysisk Selskaps gruppe for generell teoretisk fysikk. Ansvarlige for arrangementet var Per Chr. Hemmer, Kjell Mork og Haakon Olsen. Norsk Fysisk Selskap ga støtte til reise og opphold for studenter fra andre universiteter.

De senere år har det skjedd en betydningsfull utvikling innen mange områder av den eksperimentelle og teoretiske partikkelfysikk. Siktemålet med årets workshop var å gi informasjon til forskerstudenter og andre teoretiske fysikere om den nyere utvikling innenfor et av områdene i de ikke-Abelske felt-teorier.

Programmet bestod av 6 timer forelesninger og øvinger hver dag:

10.15-12.00: Jon Magne Leinaas, Oslo: Ikke-Abelske teorier

13.15-15.00: Kåre Olaussen, Trondheim: Elektrosvake vekselvirkninger.

15.30-17.30: Per Osland, Hamburg: Anvendelser og øvelser.

Forelesningene fant sted ved UNIT/NLHT, Rosenborg.

I alt 28 fysikere deltok i årets workshop, av disse var det hele 18 hovedfagsstudenter/doktorgradsstudenter. Så interessen for teoretisk fysikk er gledelig. Det må bety at vi skal kunne sikre rekruttering til den teoretiske fysikk i Norge, dersom vi kan gi disse unge muligheter for å drive forskning i fremtiden.

Erfaringen med årets workshop er god; arrangørene ser fram til gjentakelse med en workshop i et nytt område av den teoretiske fysikk.

Haakon Olsen

ASPECTS FORSØG

Hans Lütken *

Fra tid til anden finder meddelelser om væsentlige begivenheder i fysikforskningen frem til avisernes forsider.

I foråret 1983 hørte vi om en ny partikel, der hedder W, og tidligere, i efteråret 1982, kunne man læse om en anden begivenhed. «Epokegørende opdagelse afgør strid mellem Einstein og Bohr», «Fysikerne usikre på følgerne . . .», «Århundredets vigtigste forsøg» og «Mystisk fysik» var nogle af de overskrifter, der blev anvendt.

Baggrunden for avisartiklerne var en meddelelse om, at et forsøg, som den franske fysiker Alain Aspect og hans medarbejdere havde arbejdet med i årevis, nu var gennemført med et afgørende resultat.

I det følgende vil jeg prøve at beskrive forsøget i hovedtræk og således, at det erkendelsesmæssigt spændende ved forsøget kommer tydeligt frem.

Indledningsvis vil jeg sige, at forsøget nok i princippet er ret simpelt - det handler «bare» om nogle målinger på polariseret lys - men det indeholder mange store eksperimentelle udfordringer og mange interessante løsninger på disse. Selve udfaldet af forsøget blev som de fleste fysikere inklusive Aspect havde ventet. På den måde kan det altså ikke siges at være epokegørende. Det skal snarere ses som et vigtigt led i det samspil mellem teori og eksperiment, der har bragt fysikken frem til det nuværende stade.

* Fysisk institut, Danmarks Lærerhøjskole

Forsøget er især spændende ved, at det klart belyser nogle erkendelsesmæssige problemer, som også kan formuleres for ikkefysikere. Sagt helt kort går forsøget ud på følgende: To partikler (fotoner) udsendes i modsatte retninger. Når de er langt fra hinanden, måles der på dem, og det viser sig, at de har en egenskab fælles. Alligevel kan man ikke sige, at de havde egenskaben, inden man målte. Den fælles egenskab fastlægges først, når man måler - og det er problemet. Hvordan kan de finde ud af at få den samme egenskab, når de ikke kan kommunikere med hinanden?

Ovenstående lyder nok lidt kryptisk, men nu kommer den egentlige beskrivelse af forsøget og de problemer, det rejser.

Basisforsøget

Dampe af grundstoffet calcium (Ca) belyses med laserlys. Ca-atomerne kan nu ved at absorbere fotoner fra laserlyset anslås til en speciel tilstand. Et Ca-atom i denne tilstand henfalder så ved at udsende to fotoner i hurtig rækkefølge. De to fotoner udsendes så hurtigt efter hinanden, at vi kan regne dem som samtidige. De to fotoner hører i øvrigt til hver sin farve nemlig grøn (foton 1) og blå (foton 2).

Aspect ser på de tilfælde, hvor de to fotoner udsendes i modsatte retninger. Forsøgsopstillingen kan skematisk tegnes således:

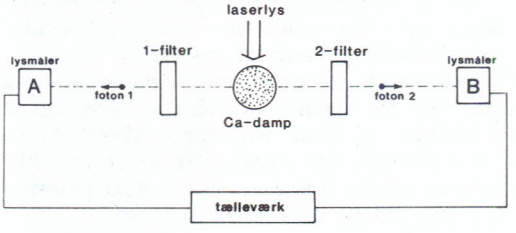


Fig. 1. Tællefrekvens: N_0

De to filtre er farvefiltre, der kun tillader lys af den farve, man er interesseret i at passere. Derved opnås, at lysmålerne ikke overbelastes af «falsk» lys. Disse lysmålere er nemlig gjort så følsomme, at de kan registrere en enkelt foton. Fra målerne sendes et elektrisk signal til et elektronisk tælleværk, der kun reagerer, hvis der *samtidig* kommer et signal fra A og B. Derved sikrer man sig, at der kun sker en tælling, når de to fotoner kommer fra samme Ca-atom. I praksis vil der forekomme nogle tilfældige sammentræf, hvor fotoner fra forskellige Ca-atomer samtidigt aktiverer målerne. Hyppigheden af sådanne «falske» begivenheder kan man beregne, hvis man måler, hvor ofte A og B hver for sig registrerer en foton. I praksis må man altså trække en «baggrund» af falske tællinger fra den målte tællefrekvens (N, antal tællinger per tid) for at finde frekvensen eller hyppigheden af ægte begivenheder. Sådanne korrektioner er naturligvis vigtige ved analysen af faktiske eksperimenter, men af

overskuelighedsgrunde vil jeg i det følgende se helt bort fra dem. En tælling i tælleværket betyder altså, at to fotoner er blevet udsendt fra samme Ca-atom og registreret af hver sin måler.

I sig selv er ovenstående eksperiment en eksperimentel udfordring, og det rummer megen spændende fysik. Det epokegørende kommer imidlertid først, når man ser på fotonernes polarisation.

Lidt om polariseret lys

Fotoner kan være polariseret vinkelret på deres bevægelsesretning. Polarisationsretningen kan være vandret eller lodret eller en hvilken som helst skrå retning mellem vandret og lodret.

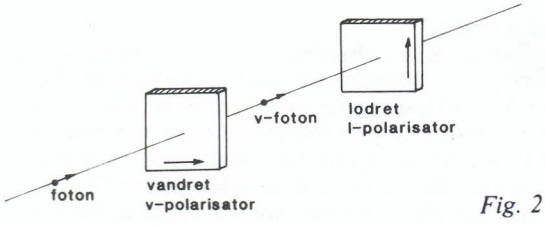


Fig. 2

En foton, der er vandret polariseret, vil jeg kalde en v-foton. En sådan foton vil upåvirket passere en polarisator (f.eks. et solbrilleglas), der også er orienteret vandret. Drejes en sådan v-polarisator 90°, bliver den til en l-polarisator, der stopper alle v-fotoner, men tillader l-fotoner at passere.

En polarisator, der peger midt mellem lodret og vandret (45° fra vandret), vil stoppe halvdelen af alle v-fotoner, og tillade den anden halvdel at passere. De fotoner, der passerer er imidlertid ikke upåvirkede - de har antaget polarisatorens polarisationsretning, i dette tilfælde 45°.

Polarisationsfiltre indsættes

Nu udbygges basisforsøget med forskellige polarisatorer. Først indsættes en polarisator foran A.

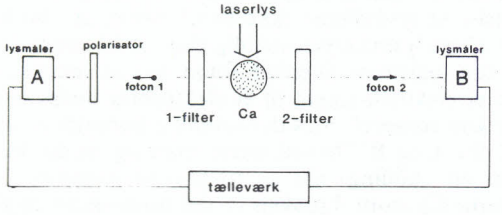


Fig. 3. Tællefrekvens: $N_1 = 1/2\ N_0$

Uanset hvilken retning der vælges for polarisatoren, fås samme resultat - tællefrekvensen falder til det halve af tællefrekvensen uden polarisator. (Samme resultat fås i øvrigt, hvis man anbringer polarisatoren foran B).

Disse resultater kan let forklares, hvis man antager, at fotonerne har alle mulige polarisationsretninger tilfældigt fordelt. I så tilfælde vil nemlig kun halvdelen af l-fotonerne nå fram til A, mens den anden halvdel stoppes af polarisatoren.

En anden forklaring - som imidlertid lyder lidt søgt - er, at Ca-atomerne indretter sig efter polarisatoren, således at der kun udsendes v- eller l-fotoner, og lige mange af hver.

Næste udbygning af forsøget er også at sætte en polarisator foran B.

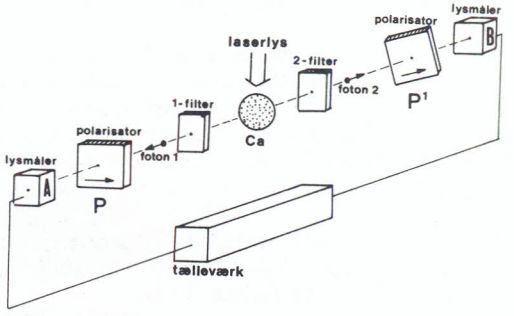


Fig. 4. Tællefrekvens: N_2.

Her viser det sig, at tællefrekvensen N_2 afhænger af vinklen mellem de to polarisatorer P og P'.

Vinkelen = 0° (P' er en v-polarisator): $N_2 = N_1$
Vinkelen = 90° (P' er en l-polarisator): $N_2 = 0$
Vinkelen = 45° (P' er en 45°-polarisator): $N_2 = 1/2\ N_1$

Disse resultater viser, at hvis foton -1 har passert v-polarisatoren P, så er foton -2 med sikkerhed v-polariseret.

De to fotoners polarisation hænger altså sammen, og denne samhørighed kunne vi prøve at beskrive ved følgende simple antagelse: De to fotoner, der udsendes fra samme Ca-atom, udsendes altid med samme polarisation, som fastlægges ved udsendelsen.

Denne antagelse giver imidlertid uoverensstemmelse med nogle af forsøgene.

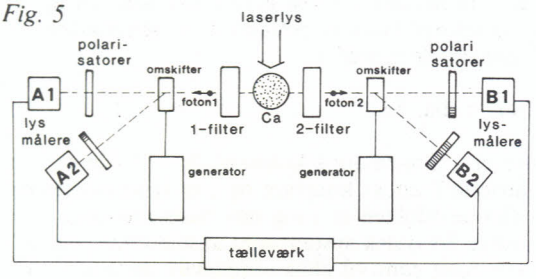
I forsøget med vinklen = 90°, skulle tællefrekvensen nemlig ikke blive nul, hvis alle polarisationsretninger kunne forekomme. Nogle af fotonerne ville så blive udsendt polariseret i retningen 45° i forhold til vandret. Halvdelen af disse l-fotoner ville så passere P, og halvdelen af de tilhørende 2-fotoner ville passere P'. Derved ville en fjerdedel af sådanne tilfælde blive registreret af tælleværket - der registrer nul! Vi ledes hermed til alvorligt at overveje den urimelige mulighed, at fotonernes polarisation allerede ved udsendelsen indretter sig efter polarisatorerne. (Muligheden er urimelig, fordi polarisatorerne var anbragt langt fra beholderen med Ca-dampe, og ingen fysikere kunne angive nogen som helst vekselvirkning mellem polarisatorerne og Ca-atomerne.)

For imidlertid helt at udelukke eventuelle ukendte vekselvirkninger lavede Aspect den sidste og mest raffinerede udbygning af forsøget. Der blev indføjet to «omskiftere», der i sidste øyeblik - mens

fotonerne var undervejs - kunne ændre deres bevægelsesretning. Dermed kunne fotonen ikke på forhånd «vide», hvilken polarisator den ville ramme.

Forsøgsopstillingen ser nu i sin endelige udformning, således ud:

Fig. 5



Som det ses af figuren, kan hver af fotonerne nu møde en af to forskellige polarisatorer, inden de registreres. De to omskiftere, hvis detaljer der ikke er plads til at beskrive her, arbejder uafhængigt af hinanden. Derved bliver de i alt fire kombinationer af to polarisatorer stort set lige sandsynlige. Omstilling fra at dirigere fotonen fra den ene retning til den anden sker i løbet af så kort tid (få nanosekunder), at fotonen vil være undervejs, når det sker. Når fotonerne starter fra Ca-atomet, kan de altså ikke «vide», hvilke polarisatorer de vil møde. De kan altså ikke på forhånd indrette deres polarisation efter den polarisator, de vil ramme. De kan heller ikke senere nå at indrette sig efter hinanden, for de bevæger sig jo med lysets fart, og en eventuel meddelelse fra den ene foton kan derfor umuligt indhente den anden.

Forsøget giver imidlertid samme resultat som det foregående. Man måler altid samme polarisation for de to fotoner.

En antagelse om, at fotonerne har en bestemt polarisation fra det øjeblik de udsendes, fører imidlertid til modstrid med forsøgsresultaterne. En nærmere analyse viser også, at det heller ikke går på anden måde at antage, at fotonerne på forhånd har bestemt sig til, hvorledes de vil reagere på polarisatorerne.

Forsøget tvinger os til den slutning, at f.eks. foton -1 under hele sin rejse til polarisatoren har alle polarisationsmuligheder i sig. Enten passerer den polarisatoren, eller også gør den det ikke - begge dele er lige sandsynligt. Det samme gælder for foton-2. Så snart der måles på bare en af dem, fastlægges imidlertid en fælles polarisation.

Som vi har set overfor, er der imidlertid ikke tale om, at de to fotoner påvirker hinanden. Det er ikke sådan, at den ene fotons «valg» er årsag til den andens - eller mere neutralt udtrykt: Måleresultaterne ved A er ikke årsag til måleresultaterne ved B, men resultaterne «hænger sammen».

Det har været hævdet, at en fysiker ved A bare ved at indstille sit måleapparat (vælge en polarisator) kunne bestemme, hvilke slags måleresultater en fysiker ved B kunne få. Dette er imidlertid en grov overfortolkning af forsøget. Dette, at man *vælger* f.eks. en v-polarisator ved A, har absolut ingen konsekvenser for resultaterne ved B. Og en fysiker ved B har ikke nogen som helst mulighed for ud fra sine målinger at afgøre om der måles på foton-1 eller ej. Først når de to fysikere sammenligner deres målerresultater, ser de noget spændende.

Forsøget indebærer altså ikke, at man ved at gøre noget et sted i verden kan påvirke begivenhederne i en fjern anden del af verden.

Tilbage bliver dog, at der findes fysiske systemer, hvor delene bevarer en «uforståelig» samhørighed, selv efter at de er spredt vilkårligt langt.

Hvad enten vi forstår det eller ej, hvad enten vi kan lide det eller ej, så må vi imidlertid acceptere verden, som den er.

Den positive lære, vi kan uddrage af forsøget, kunne da være: Verden er ofte rigere, end man tror.

Kvantemekanik og klassisk fysik

Den klassiske fysik er bygget til at beskrive bevægelser og øvrige opførsel af store genstande dvs. sten, biler, planeter o.l. Da man begyndte at studere atomer, fandt man imidlertid snart, at de opførte sig væsensforskelligt fra små bolde og andre systemer, som den klassiske fysik kunne beskrive.

Det lykkedes ret hurtigt at udvikle en ny beskrivelse - kvantemekanikken - som kunne bruges på atomare fænomener. Kvantemekanikken er begrebsmæssigt meget forskellig fra den klassiske fysik. Den er derfor uforståelig - indtil man har vænnet sig til den.

Kvantemekanikken er nu over 50 år gammel, og alle fysikere har lært at bruge den. En del fysikere er dog ikke tilfredse med kvantemekanikken. Ikke fordi den giver dårlige eller ufuldstændige forudsigelser af eksperimenter, men fordi de finder den filosofisk urimelig.

Siden kvantemekanikkens ungdom har Niels Bohr stået som eksponent for dem, der har «overgivet sig» til kvantemekanikken og accepteret dens begrebsverden som fyldestgørende. Albert Einstein har derimod stået som talsmand for dem, der finder kvantemekanikken ufuldstændig og urimelig.

Einstein brugte meget tid på at vise, at kvantemekanikken måtte føre til forkerte forudsigelser. Et af Einsteins tankeforsøg har direkte lagt op til Aspects forsøg. I dette tilfælde var kvantemekanikkens forudsigelser så oplagt urimelige, mente Einstein (og en del nutidige fysikere med ham), at teorien måtte være forkert.

Forsøget er nu blevet gennemført, og resultatet blev, som beskrevet ovenfor, at målreresultaterne var helt uforståelige ud fra en «klassisk» tankegang. Men ikke bare det. Forsøget var i fuld

overensstemmelse med de kvantemekaniske forudsigelser. Aspect selv betragter da også forsøget som endnu en bekræftelse på kvantemekanikkens styrke.

KAN VAKUUM VÆRE VARMT? eller en sammenheng mellom akselerasjon og temperatur

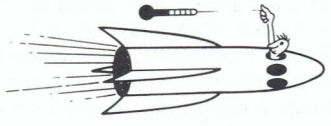
J. M. Leinaas *

1. Innledning

Vi er vant til å oppfatte vakuum - det tomme rom - som noe passivt og innholdsløst. Det har bare mening som bakgrunn for de fenomener som oppstår når rommet fylles med partikler og stråling. Likevel, kvantemekanikken lærer oss at dette bildet ikke er helt korrekt. Partiklene og strålingen beskrives av kvantefelter som fyller tidrommet, og vakuumet er grunntilstanden (eller den laveste energitilstand) til dette systemet av felter. I denne tilstanden er det riktignok verken partikler eller stråling tilstede, men det er likevel en aktivitet i feltene. Denne aktiviteten omtales gjerne som vakuumfluktuasjoner. Tilsvarende kvantefluktuasjoner finner man også i fysiske systemer som nedkjøles til det absolutte nullpunkt. (Slike «nullpunkts-fluktuasjoner» er bl.a. årsak til at helium forblir i den flytende fase også ved $T = 0$).

Vakuumfluktuasjonene minner mye om de termiske fluktuasjoner man finner i et system med temperatur $T \neq 0$. Men det er også viktige forskjeller mellom de to slags fluktuasjoner. Mens det er mulig å trekke energi ut av de termiske fluktuasjonene i et varmebad, er det ikke mulig å trekke ut «nullpunktsenergien» til vakuumfluktuasjonene. Et atom som introduseres i vakuum vil ikke eksiteres av vakuumfluktuasjonene, mens det vil bli eksitert hvis det sitter i et bad av varmestråling. Dette gjelder enten atomet sitter i ro eller beveger seg med jevn hastighet gjennom vakuumet.

Men dette betyr ikke at vakuumfluktuasjonene under alle forhold spiller en passiv rolle. Hvis atomet blir akselerert gjennom vakuumet, vil vekselvirkningen med disse fluktuasjonene gjøre at atomet blir eksitert, og som en følge av dette sender ut stråling. Det er spesielt blitt påvist at hvis atomet er jevnt akselerert (dvs. har en konstant akselerasjon i hvilesystemet), vil eksitasjonsspekteret over energinivåene ha en rent termisk karakter. På samme måte vil et (idealisert) termometer som akseleres gjennom det tomme rom gi et temperaturutslag, og temperaturen (som er bestemt av akselerasjonen a) er gitt ved formelen[1]).



Figur 1: En illustrasjon av sammenhengen mellom akselerasjon og temperatur. Et termometer som akselereres gjennom vakuum viser et temperaturutslag.

$$kT = \hbar a/2\pi c \qquad (1)$$

(Her er k Boltzmanns konstant, $\hbar = h/2\pi$ er den reduserte Plancks konstant og c er lyshastigheten).

Denne effekten er i seg selv både interessant og uventet: Et fysisk system som akselereres gjennom det tomme rom vil altså «oppleve» dette som om det var fylt med varmestråling. Det som har økt interessen for denne effekten ytterligere, er at den synes å henge nøye sammen med den såkalte Hawking-effekten: det at sorte hull sender ut varmestråling [2-3]).

Figuren som er tatt med for å illustrere akselerasjons-temperatureffekten (fig. 1) er ikke ment å tas særlig alvorlig. Hvis man, nemlig, setter inn noen tall i formelen (1) finner man fort ut at man må opp i enorme akselerasjoner for å oppnå selv beskjedne temperaturer. For eksempel finner vi at en temperatur på 1°K svarer til en akselerasjon på 10^{20} m/s^2. Det er klart at vanlige termometere ikke kan tåle slike enorme akselerasjoner. Spørsmålet er om det i det hele tatt er mulig å studere en slik svak effekt. I samarbeid med John Bell ved CERN har jeg sett på muligheten av å bruke elementærpartikler som en slags termometer[4]). Disse tåler jo godt akselerasjoner på langt over 10^{20} m/s^2). Vi har spesielt studert virkningen på elektroner som akselereres gjennom et magnetfelt. Vakuum-temperaturen skulle ha en direkte innvirkning på polariseringen av slike elektroner.

Jeg vil komme tilbake til dette. Men først vil jeg si noe mer om vakuumfluktuasjoner. Denne diskusjonen er bare ment å gi en kvalitativ forståelse, og jeg unngår detaljerte forklaringer. Jeg vil forsøke å forklare mest mulig ut fra de kvantemekaniske usikkerhetsrelasjonene.

2. Vakuumfluktuasjoner

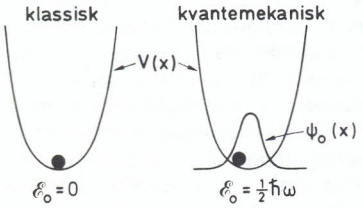
La oss begynne med et enkelt system, og se på den éndimensjonale harmoniske oscillator. Vi tenker oss da en partikkel med masse m som beveger seg i potensialet

$$V(x) = 1/2\ m\omega^2x^2 \qquad (2)$$

Den klassiske grunntilstanden (dvs. den laveste energitilstanden) til partikkelen svarer til at partikkelen ligger i ro i bunnen av potensialet ($x = 0$). Energien er $\varepsilon_0 = 0$.

Kvantemekanisk er denne tilstanden ikke mulig.

*) Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.



Figur 2: Partikkel i et harmonisk oscillatorpotensial V(x). I den klassiske grunntilstanden ligger partikkelen i ro i bunnen av potensialet. Kvantemekanisk er posisjonen bestemt av bølgefunksjonen $\psi_0(x)$, som har en viss spredning om dette punktet.

En måte å forstå dette på er å ta utgangspunkt i usikkerhetsrelasjonen for posisjon og impuls. For grunntilstanden har vi

$$\Delta x \cdot \Delta p \simeq \hbar \qquad (3)$$

Denne uttrykker at posisjonen og impulsen til partikkelen kan ikke begge ha skarpt definerte verdier. Kvantemekanisk beskrives grunntilstanden ved en bølgefunksjon $\psi_0(x)$ som har en spredning Δx om $x = 0$. Som følge av denne spredningen er energien ikke lenger null. Nullpunktsenergien er $\varepsilon_0 = 1/2\ \hbar\omega$ (fig. 2).

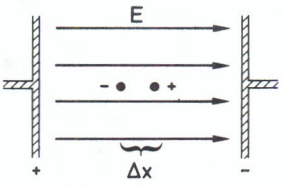
Det at partikkelen, i grunntilstanden, ikke ligger i ro i bunnen av potensialet, kan ses på som et uttrykk for de kvantemekaniske fluktuasjoner i partikkelbanen x(t). Disse fluktuasjonene kan igjen settes i sammenheng med den andre av usikkerhetsrelasjonene - for energi og tid. For grunntilstanden kan vi skrive den som

$$\Delta\varepsilon \cdot \Delta t \simeq \hbar \qquad (4$$

Vi kan tolke den som en begrensning for de fluktuasjoner som er av betydning for grunntilstanden: Fluktuasjoner i partikkelbanen som koster mye energi kan bare ha en kort levetid, mens fluktuasjoner som koster lite energi kan vare lenger.

Et system av vekselvirkende felter er naturligvis langt mer komplisert enn en harmonisk oscillator. Likevel, den kvalitative forståelse av vakuum-fluktuasjonene er ikke så forskjellig. Posisjonen x til partikkelen ovenfor svarer nå til feltstyrken (f.eks. til det elektromagnetiske felt, **E** og **B**) og vakuumaktiviteten kan beskrives som fluktuasjoner i feltstyrken. Men aktiviteten i vakuum kan nå også - i det duale «partikkelbilde» - beskrives som lokale fluktuasjoner i partikkeltallet.

Vakuumet er i dette bildet et slags hav av partikler som skapes, lever en kort stund og så forsvinner igjen. Slike partikler som nærmest lever en skyggetilværelse i vakuumet, omtales gjerne som «virtuelle partikler». Slike partikkelfluktuasjoner kan vi også tenke oss styrt av relasjonen (4) mellom energi og tid: Virtuelle partikler med høy energi kan leve bare en kort tid, mens partikler med lav energi kan leve lenger.



Figur 3 Vakuumet mellom to kondensatorplater. Ved tilstrekkelig stor spenning kan det spontant dannes elektron-positron par.

Vakuumfluktuasjonene kan påvirkes av ytre felter. La oss spesielt se på en situasjon hvor vi har et konstant elektrisk felt av styrke E mellom to kondensatorplater (fig. 3). Feltet påvirker vakuumfluktuasjonene mellom platene ved å forandre energien til de virtuelle partiklene. Hvis vi spesielt ser på den potensielle energien til et elektron-positron par, med relativ avstand Δx, er den gitt ved

$$\Delta\varepsilon = 2mc^2 - E\Delta x \qquad (5)$$

når vi ser bort fra Coulombkraften mellom partiklene. Uttrykket viser at et slikt virtuelt partikkelpar nå kan leve lenger fordi energien $\Delta\varepsilon$ er blitt mindre. En økning i feltstyrken E gir altså en økning i vakuumsaktiviteten. Ved fortsatt å øke E nås tilslutt en kritisk grense hvor

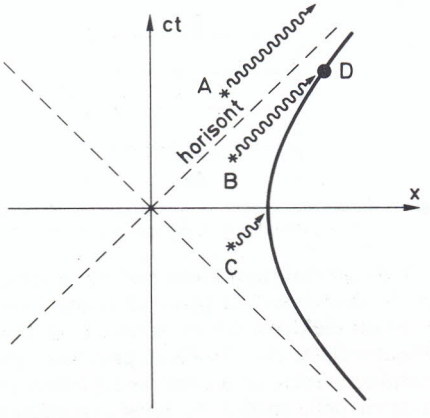
$$E\Delta x > 2mc^2 \Rightarrow \Delta\varepsilon < 0 \qquad (6)$$

Det opprinnelige vakuumet er nå ikke lenger den laveste energitilstanden, fordi man vinner energi når et elektron-positron par skapes i tilstrekkelig stor avstand fra hverandre. I et slikt sterkt felt blir vakuumet ustabilt, ved at det spontant dannes elektron-positron par. Prosessen ligner det som skjer i en nøytral gass når den pålegges et elektrisk felt over en viss verdi. (Merk, likevel, at man i praksis ikke kan studere vakuumustabiliteten på den måten som er skissert ovenfor. Det skyldes at avstanden Δx må være mindre enn Compton-bølgelengden til elektronet hvis skapelsesprosessen ikke skal bli altfor langsom. Dette svarer til et enormt sterkt felt, $E \simeq 10^{19}$ V/m).

3. Sorte hull og akselererte termometere

I likhet med et elektrisk felt vil også et gravitasjonsfelt påvirke vakuumfluktuasjonene. Jeg vil nå forsøke å skissere hvordan gravitasjonsfeltet rundt en sort hull kan gjøre vakuumet ustabilt og føre til spontan dannelse av stråling.

Et typisk trekk ved et sort hull er at det omgir seg med det som kalles en horisont. Partikler og stråling som befinner seg på innsiden av horisonten er så sterk bundet i gravitasjonsfeltet at de ikke har mulighet til å bevege seg ut gjennom horisonten. De faller ubønnhørlig inn i senteret til det sorte hullet. Partikler og stråling som befinner seg på utsiden av horisonten har mulighet for å unnslippe det



Figur 4 Banen til en uniformt akselerert detektor D i tidrommet framstilt i et Minkowski-diagram. Punktet A ligger utenfor horisonten til detektoren. Punktene B og C ligger innenfor horisonten, B nærmere horisonten enn C. Et lyssignal fra B (bølget linje) blir derfor mer rødforskjøvet når det når detektoren enn et lyssignal fra C.

sorte hullet, men de taper energi ved å bevege seg opp gjennom gravitasjonspotensialet.

La oss se på energien til et foton som sendes ut fra et punkt utenfor horisonten i avstand r fra det sorte hullet. En stasjonær observatør på dette stedet tilskriver det en energi $\varepsilon = \hbar\omega$. Men hvis vi også tar hensyn til den potensielle energien i gravitasjonsfeltet, får vi et annet uttrykk,

$$\varepsilon = \hbar\omega \sqrt{1-R/r}, \; R = 2G\,M/c^2 \qquad (7)$$

(G er gravitasjonskonstanten.) Dette er mindre enn $\hbar\omega$ på grunn av tiltrekningen i gravitasjonsfeltet. Uttrykket viser videre at totalenergien går mot null når punktet fotonet sendes fra nærmer seg horisonten ($r \longrightarrow R$). På horisonten oppveier den potensielle energien helt den kinetiske energien til fotonet. Også for partikler med masse vil totalenergien på horisonten bli null.

Virkningen av gravitasjonsfeltet på vakuumfluktuasjonene blir nå noe lignende virkningen av det elektriske feltet. Energien til de virtuelle partiklene blir mindre i gravitasjonsfeltet, og de får dermed lengre levetid. Når en nærmer seg horisonten vil levetiden gå mot uendelig (i tidsskalaen til en observatør utenfor det sorte hullet). Dette er en indikasjon på den vakuum-ustabiliteten jeg har vært inne på.

Hvis vi går et skritt lenger og beveger oss innenfor horisonten blir forholdene mer kompliserte. Begrepet potensiell energi er mer uklart fordi det viser seg at gravitasjonsfeltet er tidsavhengig i ethvert lokalt inertialsystem her. La oss likevel bruke det i en forenklet forklaring på hva som skjer når vi passerer horisonten.

Som nevnt kan et lyssignal som sendes fra et punkt utenfor horisonten unnslippe det sorte hullet. Men det kan bli sterkt rødforskjøvet på veg gjennom gravitasjonsfeltet. Et lyssignal som sendes fra et punkt på horisonten vil ikke kunne unnslippe. Det blir «stående» på horisonten, som en slags fastfrosset bølgefront i gravitasjonsfeltet. På innsiden av horisonten vil lyssignalet ikke ha nok energi engang til å bli stående i gravitasjonsfeltet. Det faller ubønnhørlig tilbake inn i senteret av det sorte hullet. Vi kan tenke oss at et slikt foton har negativ energi, idet gravitasjonspotensialet overvinner den kinetiske energi $\hbar\omega$.

Hvis vi godtar en slik forenklet forklaring blir analogien til vakuum-ustabiliteten i det elektrostatiske feltet svært nærliggende. Også i gravitasjonsfeltet kan det spontant dannes partikkel-par, uten at det bryter med energibevaringen. Den ene partikkelen dannes med negativ energi på innsiden av horisonten og den andre med positiv energi på utsiden. Den sistnevnte kan bevege seg ut av gravitasjonsfeltet og observeres som stråling utenfor det sorte hullet.

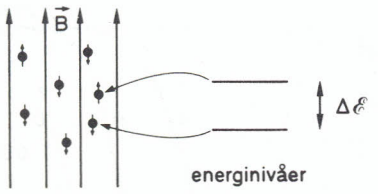
Hawkings mer detaljerte studier tyder på at det virkelig er en slik stråling fra et sort hull. Han har i tillegg vist at den har karakteren av en varmestråling. Det sorte hullet stråler som om det hadde en temperatur forskjellig fra null. Denne temperaturen er bestemt av massen M til det sorte hullet

$$kT = \hbar c/8\pi GM$$

La meg nå knytte forbindelsen tilbake til utgangspunktet: eksitasjon av fysiske systemer som akselereres gjennom vakuum. Vi tenker oss da at vi ikke lenger har noe gravitasjonsfelt tilstede, men en strålingsdetektor akselereres nå gjennom tidrommet. Den har konstant akselerasjon målt i hvilesystemet. I et tidrom-diagram, som vist i fig. 4, beskriver detektoren en hyperbelbane.

Et karakteristisk trekk ved denne bevegelsen er at det, som for det sorte hullet, finnes en horisont. Lyssignaler fra et punkt i tidrommet på den andre siden av denne horisonten vil aldri nå igjen detektoren. Lyssignaler sendt fra punkter på samme side av horisonten som detektoren vil nå igjen denne, men de vil bli mer og mer rødforskjøvet jo nærmere punktet ligger horisonten. Dette skyldes ikke noe gravitasjonsfelt, men simpelthen Dopplerforskyvningen på grunn av hastigheten til detektoren.

Likheten mellom det sorte hullet og det akselererte systemet kan vi tilskrive ekvivalensprinsippet, som sier at det ikke er noen vesensforskjell mellom akselerasjon og gravitasjon. Likheten går imidlertid lenger enn det som er omtalt ovenfor. Som tidligere nevnt vil en akselerert detektor blir eksitert - i likhet med en detektor utenfor et sort hull - som om det var varmestråling tilstede. Temperaturen er gitt ved formelen (1), som er helt analog med den som er gitt i likn. (8). I dette tilfelle er det ikke naturlig å snakke om noen ustabilitet av vakuum, siden det ikke er noe ytre felt tilstede. Men også i dette tilfelle er det vakuumfluktuasjonene som er ansvarlig for



Figur 5: Spinneksitasjoner av elektroner i et magnetfelt. De to energinivåene svarer til spinn opp og spinn ned i magnetfeltet.

effekten. Som en mer detaljert fremstilling viser er det vekselvirkningen mellom disse fluktuasjonene og det akselererte systemet som er årsak til eksitasjonen.

4. Elektronet som termometer

De effektene jeg har beskrevet foran, og som har å gjøre med ustabiliteter i vakuumet, er under normale forhold uhyre svake. Det samme gjelder temperatureffekten for akselererte legemer. Likevel, når vi går til elementærpartikkelfysikken opptrer det akselerasjoner som er enormt store og det er ikke lenger sikkert at effekten er fullstendig neglisjerbar. Jeg vil nå se på muligheten av å bruke elektroner som en slags termometer, som kan registrere oppvarming som skyldes at partiklene er akselerert.

Vi ser først på et elektron i et konstant ytre magnetfelt **B**. Energinivåene som skyldes spinneksitasjoner er bestemt av Hamiltonoperatoren

$$H = g\, e\hbar/4mc\, \boldsymbol{\sigma}\cdot\mathbf{B} \qquad (9)$$

Her er g den gyromagnetiske faktor for elektronet, som er meget nær 2, og $\boldsymbol{\sigma}$ er Paulis spinnmatriser. Energi-egentilstandene svarer til «spinn opp» og «spinn ned» i magnetfeltet. De tilhørende energinivåene har en relativ avstand (fig. 5)

$$\Delta\varepsilon = g\, e\hbar/2mc\, B \qquad (10)$$

Hvis vi har en samling slike elektroner i ro ved temperatur T = 0, vil de alle sitte i nederste energinivå, dvs. med spinn ned. Det svarer til en fullstendig polarisering av elektronene.

Hvis vi nå øker temperaturen noe, $T \neq 0$, (og antar at elektronene fortsatt er i ro) vil dette medføre at enkelte elektroner blir eksitert til det øvre energinivået, dvs. med spinn opp. Den relative besetningssannsynlighet er gitt ved

$$R = \exp(-\Delta\varepsilon/kT) \qquad (11)$$

Dette gir en viss depolarisering av elektronene. Polarisasjonen er uttrykt ved

$$P = (1\text{-}R)/(1+R) \qquad (12)$$

Elektronene kan altså, ideelt sett, brukes som et termometer, idet temperaturen avleses av polarisasjonsgraden til elektronene (når termisk likevekt er nådd).

Som neste punkt la oss se på hvor stor akselerasjon man kan oppnå for elektroner i partikkelakseleratorer. I en akseleratorring, hvor elektronene sirkulerer med ultrarelativistisk hastighet ($\beta = v/c \simeq 1$) i et avbøyende magnetfelt, er akselerasjonen a gitt ved

$$a = \gamma^2 c^2/\rho \qquad (13)$$

Her er $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ og ρ er krumningsradius til elektronbanen. Hvis vi setter inn verdier fra akseleratoren LEP som er under bygging ved CERN, $\rho \simeq 3$ km og $\gamma \simeq 10^5$, får vi

$$a \simeq 3\cdot 10^{23}\ \mathrm{m/s^2}.$$

Dette svarer, ifølge formelen (1), til en betydelig temperatur, $T \simeq 1200°K$. Tilsvarende verdier for a finner man i virkeligheten også ved mindre akseleratorringer. Spesielt gjelder dette akseleratoren SPEAR ved Stanford akseleratorsenter i USA, hvor det er gjort polarisasjonsmålinger på elektroner som jeg skal komme tilbake til.

I lineære akseleratorer kommer man ikke opp i akselerasjoner som er tilnærmelsesvis så store som dette. Jeg vil derfor begrense meg til å se på elektroner som er akselerert i sirkulær bane i et magnetfelt. Som vi skal se opptrer det imidlertid problemer som skyldes den sirkulære banen, idet temperaturformelen (1) egentlig bare gjelder for lineær akselerasjon.

Men foreløbig ser vi bort fra dette. Vi regner at elektronene sirkulerer i en klassisk bane med radius ρ, bestemt av styrken på magnetfeltet, mens spinnet kan påvirkes av vakuumfluktuasjonene til det elektromagnetiske felt. Uttrykkene (9)-(12) er fortsatt gyldige, men med B nå som magnetfelt i hvilesystemet til elektronene. Akselerasjonen a er bestemt av det elektriske felt E i hvilesystemet

$$a = e/m\, E \qquad (14)$$

Feltene E og B kan begge uttrykkes ved magnetfeltet B_0 i lab-systemet

$$B = \gamma B_0$$

$$E = \gamma\beta B_0 \simeq B \qquad (15)$$

Temperaturformelen (1) gir nå følgende sammenheng mellom T og B,

$$kT = \hbar a/2\pi c \simeq 1/\pi \cdot e\hbar/2mc \cdot B \qquad (16)$$

Sammenligner vi denne med likn. (10) og (11), finner vi at besetningssannsynligheten for øvre energinivå er

$$R = \exp(-\pi g) \simeq 0.002 \qquad (17)$$

Dette svarer til en polarisasjon

$$P = \tanh(-\pi g) \simeq 0.996 \qquad (18)$$

Vi legger merke til at resultatene er uavhengig av energien til elektronene (dvs. av verdien på γ). Men avviket fra fullstendig polarisering er svært lite.

Nå er det tidligere gjort andre, mer detaljerte beregninger av spinneffekter for sirkulerende elektroner, som ikke er basert på sammenhengen mellom akselerasjon og temperatur[5]). De gir noe større avvik fra full polarisering

$$P = 0.924 \qquad (19)$$

Denne verdien på P, samt den teoretisk beregnede tid for å nå likevektsfordelingen, er nylig blitt bekreftet eksperimentelt, med stor nøyaktighet, ved SPEAR[6]).

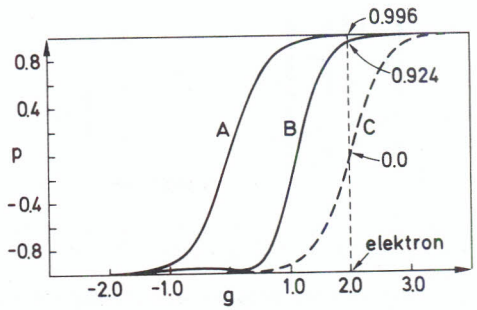
Når en sammenligner de to verdiene for P som er angitt ovenfor, kan det synes nærliggende å slutte at temperatureffekten som skyldes akselerasjon av elektronene bare i liten grad kan forklare den observerte depolariseringen. Jeg vil likevel hevde at dette er en noe forhastet konklusjon. For å vise det, vil jeg lede oppmerksomheten til fig. 6 som viser P som en funkson av g. Vi ser at kurven som følger av den enkle temperaturformelen slett ikke er så forskjellig fra den som følger av den detaljerte beregningen. Den viktigste forskjellen er forskyvning av kurvene i forhold til hverandre langs g-aksen.

I virkeligheten er det et problem jeg hoppet raskt over da jeg satte opp uttrykket (10) for spinn-energien. Det er energiens avhengighet av valg av koordinatsystem. Hvis vi går over til et koordinatsystem som roterer i forhold til det opprinnelige, vil det forandre uttrykket for $\Delta\varepsilon$ på en måte som svarer til å forskyve kurven for P langs g-aksen. Uttrykket (10) gjelder det system som er uten rotasjon når man følger elektronene i banen. Det er imidlertid kjent at dette koordinatsystemet roterer i forhold til lab systemet. Dette er en relativistisk effekt og er opphavet til den berømte Thomas-presesjonen til elektronene. Hvis man valgte et annet hvilesystem, som var uten rotasjon i forhold til lab systemet, ville energisplittingen mellom spinn-nivåene bli

$$\Delta\varepsilon = (g-2)\, e\hbar/2mc \cdot B \qquad (20)$$

Dette ville forskyve kurven for P med 2 enheter langs g-aksen (fig. 6), og gi en nesten fullstendig depolarisering ($P \simeq 0$) for elektronene. Den korrekte kurven ligger i virkeligheten mellom disse to ytterpunkter. Hvorfor den ligger akkurat der har jeg ingen enkel forklaring på.

Det opptrer altså komplikasjoner ved den sirkulære bevegelse, som ikke er tilstede ved lineær akselerasjon. Dette gjør at vår enkle temperaturberegning ikke gir en helt pålitelig numerisk verdi for polarisasjonen P. Likevel synes selve forklaringen å ha noe for seg. Vi kan se på depolariseringen som en oppvarmingseffekt som skyldes elektronenes akselerasjon gjennom vakuum. Denne alternative måten å betrakte fenomenet på gir det et helt annet perspektiv enn det en får ved en ren teknisk beregning av polarisasjon. Som diskutert ovenfor bringer det oss i forbindelse med langt mer eksotiske prosesser i det sterke gravitasjonsfeltet rundt sorte hull. Et spørsmål er om vi også kan lære noe av å se på denne sammenhengen i motsatt retning. Det har vært hevdet bl.a. av Hawking, at varmestrålingen fra sorte hull antyder en mer dyptliggende sammenheng mellom gravitasjon og termodynamikk. Kanskje det er mulig å oppnå en bedre forståelse av disse forholdene ved å sette dem i forbindelse med slike enklere prosesser som opptrer under mer normale forhold?



Figur 6 Polarisasjonen til sirkulerende elektroner i magnetfelt som funksjon av den gyromagnetiske faktor g ($\simeq$ 2 for elektroner). A er kurven beregnet fra en «naiv» temperaturformel, B fra en detaljert beregning og C utfra temperaturformelen anvendt i et koordinatsystem som ikke roterer i forhold til lab systemet.

Referanser

[1]) W. G. Unruh, Physical Review D14 (1976) 870
[2]) S. Hawking, Nature 248 (1974) 30 og Scientific American 236 (1977) 34.
[3]) F. Ravndal, Fra Fysikkens Verden, nr. 3, (1978), s. 60.
[4]) J. S. Bell og J. M. Leinaas, Nuclear Physics B212 (1983) 131.
[5]) J. D. Jackson, Reviews of Modern Physics 48 (1976) 417
[6]) J. R. Johnson, R. Prepost, D. E. Wiser, J. J. Murray, R. F. Schwitters og C. K. Sinclair, Nuclear Instruments and Methods, 204 (1983) 261.

HUSK
KONTINGENTEN

HVORDAN BLEV BRYDNINGSLOVEN OPDAGET

August Ziggelaar *)

Danmark havde før i tiden en kongelig astronom, «kongelig Mathematicus»; den berømteste er Ole Rømer. Det tyske kejserrige havde en kejserlig astronom. Tyge Brahes medarbejder i Prag, Johann Kepler (1571-1630), blev efter Tyge Brahes død i 1601 udnævnt til kejserlig astronom. Kepler var ikke blot en kejserlig astronom af navn men også af gavn. Han blev sin tids største astronom, ja én af alle tiders største, i min vurdering større end Copernicus og Galilei. Han fandt de tre love for planeternes bevægelse: Om deres ellipsebane, deres ujævne bevægelse og deres omløbstid.

Men selv denne kejserlige astronom måtte give op over for et så dagligdags fænomen som lysets brydning. Nok lykkedes det ham at forklare synsprocessen med øjelinsens og nethindens roller, også hvordan briller og kikkerten virker, og alt det havde ingen anden formået før ham. Men hvilken sammenhæng er der mellem indfallsvinkel og brydningsvinkel ved lysets brydning gennem et grænselag mellem to medier (gennemsigtige stoffer)?

Den store videnskabsmand skrev den 2. oktober 1606 et brev, hvori han ydmygt tryglede om at få noget at vide om «nye og ukendte principper i lyslæren», som ville kuldkaste hans egne bidrag til optikken.

Thomas Harriots opdagelse (1601)

Kepler skrev dette i et brev til den engelske matematiker Thomas Harriot (1560-1621). Den norske gymnasielærer Johs. Lohne har studeret Harriots manuskripter og fundet, at Harriot allerede i 1601 havde den rigtige brydningslov[1]. Sandsynligvis ledtes han ind på det rette spor af en gammel fejltagelse. Når man ser på en genstand A under vand (fig. 1), synes den hævet op til et højere sted. Hvor? Det var en almindelig antagelse, at dette sted var skæringspunktet B mellem lodlinien gennem A og forlængelsen bagud af den brudte stråle.

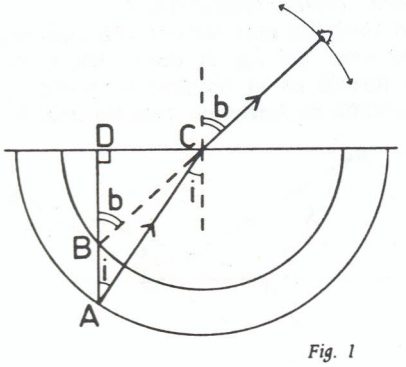


Fig. 1

Kepler havde vist, at dette ikke er rigtigt, men det vidste andre ikke. Også Harriot synes at have taget sit udgangspunkt i den forkerte antagelse for at løse følgende problem. Vi betragter en lodret halvcirkel, som er anbragt under vand med centrum C i vandoverfladen. Vi ser på den fra forskellige retninger, således at sigtelinien stadig går gennem halvcirklens centrum. Hvordan vil halvcirklen da se ud? Svaret fandt Harriot ved at vælge flere punkter A på halvcirklen og konstruere skæringspunkterne B. Det kunne Harriot, fordi han havde en række sammenhængende indfalds- og brydningsvinkler. Den græske astronom Ptolemaios havde allerede i det andet århundrede efter Kristus ved forsøg fundet frem til følgende tabel, som dog er lidt forbedret af Witelo, en forfatter i det trettende århundrede.

i	b
0°	0°
7¾°	10°
15½°	20°
22½°	30°
29°	40°
35°	50°
40½°	60°
45½°	70°
50°	80°

Prøv nu selv at konstruere halvcirklens «billede»! Det overraskende resultat er, at punkterne B ligger nogenlunde (med hensyntagen til ufuldkommenheder i Ptolemaios' forsøg) på en halvcirkel. Det kan udtrykkes sådan, at forholdet mellem AC og BC er det samme for alle indfaldsvinkler. Forholdet mellem AC og BC er forholdet mellem de to cirkelradier. Der har vi brydningsloven! At Harriots resultat er ensbetydende med sinusloven, kan man jo hurtigt overbevise sig om.

$\sin i = DC/AC$ og $\sin b = DC/BC$,

så $\sin b/\sin i = BC/AC =$ konstant.

For vand er dette forhold 3/4 ved brydning fra vand til luft. Ved brydning fra luft til vand det omvendte: 1,33 - det vi stadig kalder for vands brydningsforhold.

Det synes mærkeligt, at den rigtige brydningslov kan udtrykkes i ord, taget fra en forkert forestilling. Men der er jo noget rigtigt i Harriots fremgangsmåde. Ingen kan forbyde ham at konstruere punkterne B, defineret som skæringspunkter, selv om de ikke er billedpunkter.

Så dybt forstod Harriot sin egen opdagelse, at han ikke alene brugte den til at opstille en meget

* Danmark Lærerhøjskole.
Fra FYSIK/KEMI 1981/4.

nøjagtig tabel over sammenhørende indfalds- og brydningsvinkler, men at han også kom til at forstå farvespredning i prismer . . . og regnbuens fremkomst.

Willebrord Snel genopdager brydningsloven (1621)

Harriot har aldrig offentliggjort sine opdagelser. Derfor kunne de blive genopdaget af andre. Ved universitetet i Leiden, Holland, begyndte Willebrord Snel van Royen (1591-1626) i oktober 1621 at forelæse over lyslæren. Han gik ud fra samme forkerte antagelse som Harriot og nåede til samme rigtige resultat. Vi har hans egenhændige formulering af brydningsloven: «Den virkelige og den tilsyneladende stråle har for et og samme medium det samme indbyrdes forhold». Det lyder mærkeligt, men det fremgår klart, at han hermed mente det samme som Harriot, nemlig at AC:BC = konstant.

Snel har også udtrykt brydningsloven i andre vendinger men på en indviklet måde, som ikke skal gengives her. Det kan nemlig også siges på en enkel måde, og fortjenesten for at have fundet på den, har den franske filosof René Descartes.

René Descartes' sinuslov (1637)

René Descartes (1596-1650) var en fransk adelsmand. Han havde gået i skole hos jesuitterne; men derefter ville han læse videre i verdens store lærebog og rejse ud. En overgang gjorde han krigstjeneste i Tyskland, hvor trediveårskrigen lige var begyndt. I vinteren 1621-22 var han i Den Haag, Hollands regeringsby, kun få kilometer fra universitetsbyen Leiden, hvor Snel på den tid forelæste over lyslæren. Hans forelæsningsnoter cirkulerede i de følgende år blandt interesserede, og Descartes færdedes efter 1629 længe i sådanne kredse. Dog kan vi ikke sige, om han har kendt til Snels opdagelse. Men i 1637 stod Descartes frem for offentligheden med en storstilet plan til en ny fremgangsmåde i videnskaben under titlen «Discours de la méthode». Selve fremstillingen af den nye videnskabelige metode efterfulgtes af eksempler på dens anvendelse. En av dem er beviset for brydningsloven, og Descartes opstiller brydningsloven i den helt rigtige formulering . . . og med et forkert bevis. En lysstråle brydes ved gennemgang fra medium 1 til medium 2 (fig. 2). Hvis AC = BC,vil liniestykkerne AD og BE stå i et fast forhold til hinanden, d.v.s.:

$$AD/BE = n,$$

og i denne form er den siden Descartes kendt som sinusloven. Descartes' bevis springer vi over, det er jo forkert.

Pierre de Fermats princip (1662)

Mange tilbad Descartes' moderne filosofi og overtog begejstret den nye videnskabelige metode. Der var dog også kritikere. En af dem var en advokat i Toulouse, der også var en genial matematiker. Pierre de Fermat (1601-1665).

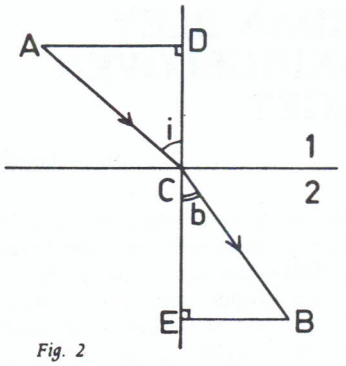


Fig. 2

Han indså, at Descartes' bevis ikke slog til, «altså» var også resultatet, sinusloven, forkert, mente han. Den rigtige fremgangsmåde, erklærede Fermat i 1657, var at gå ud fra det princip at lyset vælger den hurtigste eller letteste vej. Af dette princip havde man allerede for længe siden udledt loven for tilbagekastning fra et plant spejl. Lad i fig. 3 ved punktet C tilbagekastningsvinklen t være lig indfaldsvinklen i. Det vises da let geometrisk, at vejen A-C-B er kortere end enhver anden vej A-C'-B. (Sammenlign A'-C-B og A'-C'-B).

Samme princip ville Fermat nu anvende for at udlede den rigtige brydningslov. Han kunne dog ikke tage sig sammen til at gjennemføre udregningerne, før han hørte, at forsøgene bekræftede Descartes' sinuslov. Derfor gav han sig først i 1662 til at udregne den vej, lyset må følge for så hurtigt som muligt at komme fra et givet punkt i det første medim til et givet punkt i det andet medium. «Kan man tænke sig nogen større overraskelse end den, jeg oplevede?», spørger Fermat, da han opdager, at hans udregning førte ham til præcis det samme resultat som Descartes, til sinusloven![2])

Den første offentliggjorte formulering af brydningsloven med Fermats princip (1634).

Siden 1662 har man talt om «Fermats princip». Men nu viser det sig, at det er blevet brugt til samme formål på et tidligere tidspunkt. I 1617 havde jesuitterne startet en matematikskole i Ant-

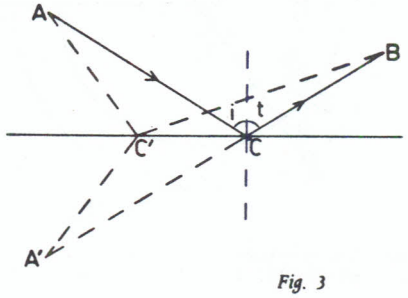


Fig. 3

werpen. I 1621 lykkedes det dem at flytte den over til universitetsbyen Louvain.

En regelmæssig tilbagevendende festlig begivenhed ved jesuitternes skoler (og ikke alene hos dem) plejede at være de studerendes offentlige forsvar for deres professors læresætninger. Det tjente mange formål. Det kunne f.eks. være en afslutning på studieåret; de studerende kunne også vise deres præstationer, og professorerne kom frem med deres meninger og fremlagde resultaterne af både deres undervisning og forskning. Det var en reklame for skolen o.s.v. I skoleåret 1633-34 havde Vilhelm Boelmans (1603-1638) været matematikprofessor. Han var født i Maastricht i Nederlandene og indtrådte i jesuiterordenen i 1617. Den 8. og 9. august 1634 afsluttedes skoleåret med offentligt forsvarede teser (sætninger) om matematiske emner. Teserne blev udsendt på tryk med geometriske figurer - dog uden beviser, for de studerende skulle selv bevise teserne og forsvare dem over for kritik fra deres studiekammerater og fra tilhørerne i salen. Et matematikkursus omfattede den gang en hel del fysik, nemlig al den fysik, som man allerede dengang kunne komme til livs med matematik. Det meste af det, som dengang lå på forskningsfronten, er nutildags elementær matematik og fysik.

Blandt Boelmans' matematiske sætninger er derfor også en lang række sætninger fra lyslæren. For brydningens vedkommende gik Boelmans ud fra dette princip: «Lad det være forudsat, at naturen ved sit virke gennemløber så lidt som nødvendigt i det tynde og det tætte medium tilsammen». Skønt sagt på en dunkel måde er det dog tydeligt nok Fermats princip ... atten år før Fermat brugte det. Efter nogle indledende sætninger fortsætter Boelmans: Under denne forudsætning kan det vises, hvilken er den vej, hvorved så lidt som muligt i de to medier tilsammen gennemløbes. I fig. 4 skal lyset gå fra A til H gennem grænselaget ZN mellem de to medier. En cirkelbue med centrum i H skærer grænselaget i E og i B. Forlæng AB til V, således at VB = BH og læg en anden cirkelbue med V som centrum og samme radius som den første. Den skærer grænselaget i F. Hvis nu FB forholder sig til BE som de to mediers tætheder, da går lysstråler fra A til H gennem B, hævder Boelmans.

Dette er sinusloven! Når man ser på figuren vil man let overbevise sig om, at ZB:BH er sinus til brydningsvinklen. Men BE = 2 ZB så BE:BH = 2 sin b. Ligeledes er FB:VB = 2 sin i. Heraf fås VB = BH. Indholdet af Boelmans' tese er derfor, at sin i : sin b er et fast forhold, nemlig «forholdet mellem de to mediers tætheder».

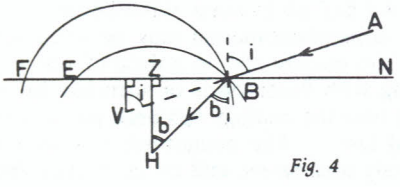


Fig. 4

Dette er den første trykte offentliggjørelse af den rigtige brydningslov, tre år før Descartes. Desværre kan vi ikke vide, om Boelmans på en rigtig måde har udledt sinusloven ud fra sit princip om den korteste lysvej, fordi kun teserne er trykt, uden beviser. Figurerne og de indledende sætninger antyder dog en vej, som Boelmans kan være gået. [3]).

I hvert fald er det værd at bemærke, at den rigtige brydningslov for første gang kom frem på tryk og blev fremstillet som følge af Fermats princip som et led i fysikundervisningen.

Hele historien om opdagelsen af brydningsloven viser, at den levende fysik udvikler sig ad flere veje end den, der ofte fremstilles som «den» naturvidenskabelige metode.

Ref.:

[1]) *Johs. Lohne:* Thomas Harriott (1560-1621) The Tycho Brahe of Optics, Centaurus 6 (2) (1959) 113-121.

[2] *J. A. Lohne:* Fermat, Newton, Leibniz und das anaklastische Problem, Nordisk Matematisk Tidsskrift 14 (1) (1966) 5-25. Kirsti og Kurt Møller Pedersen: Variationsregningens Tidlige Historie, Nordisk Matematisk Tidsskrift 19 (1) (1971) 61-74.

[3]) *August Ziggelaar:* The Sine Law of Refraction, derived from the Principle of Fermat - prior to Fermat? The Theses of Wilhelm Boelmans S. J. in 1634, Centaurus 24 (1980) 162-178.

SWIMMING BACTERIA: SIMULATORS OF A DRUNKARD'S WALK

K. Razi Naqvi *

Where I grew up, vast open spaces and dry sunny days were plentiful, and - naturally enough - kiteflying was a favourite pastime. Kites could reach such altitudes that no one would be able to see the line (the long chord held in the hand, or wound on a reel, used for manoevuring the kite when it is aloft) beyond a certain distance from the flier's hand; a child, curious to visualise the shape of the line, would occasionally take a brightly coloured band of very thin paper and, after passing it through the line, watch it slowly twirl and slide all the way ut to the kite, tracing out the sagging shape of the invisible line.

Notwithstanding the great deal of physics involved in kiteflying, and the contribution made by this branch of experimental physics to the invention of the lightning conductor, the columns of *Fra Fysikkens Verden* are not the place to dwell on the irrepressible obsessions of juvenile wasters - especially those from a foreign land. It is the age-old urge to visualise the invisible that concerns me now: the context is the swimming of bacteria; the invisible

* Fysisk Institutt UNIT/NLHT.

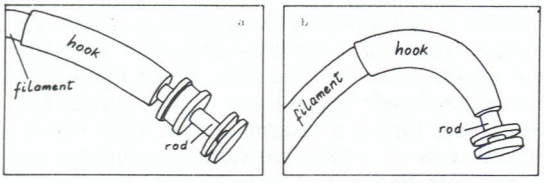


Fig. 1. Hooks and basal structures of flagella of two kinds of bacteria. In *E. coli*, a Gram-negative bacterium (a), four rings are mounted on a rod attached to the proximal end of the hook. In *Bacillus subtilis*, a Gram-positive bacterium, only two rings are found. (Bacteria are broadly classified in a binary system according to whether they stain by the procedure described in 1884 by the Dane Christian Gram and are therefore said to be Gram-positive, or are Gram-negative. Subsequent work has shown that these staining characteristics can be traced to fundamental differences in the organization of the bacterial envelope.)

objects, bacterial flagella (which are too thin to be seen with the light microscope). I want to describe an experiment in which two molecular biologists, Silverman and Simon, established - with childlike ingenuity - the mechanism by which bacteria swim in aquatic environments; but before doing so, I need some prefatory material concerning the swimming behaviour of bacteria and the flagellar anatomy.

★ ★ ★

Most bacteria swim actively by using flagella protruding from one or both ends of the cell (*mono-* or *bitrichous* [Gr. *trichos,* hair]), or sometimes covering the whole surface (*peritrichous* [Gr. *peri,* around]). After much early argument about how the flagella are fixed in the bacterial cytoplasm, analysis of the situation in *Escherichia coli, Salmonella,* and *Bacillus subtilis* has led to an identikit for these bacteria. The flagella consist of three morphologically distinct parts: the basal body, the hook, and the filament (see Fig. 1). The basal body consists of a rod (about 27 nm long) bearing, in the structures obtained from *E. coli* and *Salmonella,* two pairs of discs, and in *B. subtilis* one pair. The diameter of the discs is *ca.* 22 nm; that of the rod, 7-10 nm. The hook structure is believed to act as a 'universal joint' between the basal body and the filaments. The filaments are about 12 to 20 nm in diameter and can be 15 to 20 μm long; some are sheathed, whilst others seem not to be. When dried negatively stained preparations are viewed through the electron microscope, the filaments appear to describe sinusoidal curves (wavelength 2-3 μm, amplitude 0.2-0.6 μm) which arise from collapse of the helices in which they originally existed in the living preparation. A variety of mutants with differently shaped flagella have also been isolated. In *E. coli,* some twenty genes are required for the complete assembly and function of the flagellum; many are homologous to those found in *Salmonella.* One *(hag)* is the structural gene for flagellin (the protein that makes up the flagellum), another *(flaE)* controls the length of the hook, a third *(flaI)* regulates the synthesis of the entire structure.

Swimming bacteria can be rendered temporarily nonmotile by giving them a «shave» in a kitchen blender: flagella are dislodged from the cell without killing the bacteria. The «bald» cells slowly grow new flagella and recover their ability to swim. There also exist mutants which lack flagella: these cells are nonmotile. Thus, flagella are requisite for swimming, but swimming is not a necessity for these creatures.

Observing bacterial motion through a microscope is not just a matter of peeping through the eyepieces. Most bacteria are quite small (*E. coli* is, for instance, about 10^{-4} cm in diameter and twice as long) and they can swim as fast as 50 diameters per second. At the magnification necessary for observing it closely, a bacterium swims out of focus in a fraction of a second. If confined to a small volume, it becomes neurotic: that is to say, it tends to adhere to the walls of the container or to swim around in circles. To overcome this major difficulty, Howard Berg decided to make a servo-controlled observation chamber that automatically compensates for the movements of the bacterium, keeping it at a fixed point in the laboratory; readings of the chamber movement provide a record of the bacterial displacement relative to the suspension medium. The instrument tracked its first bacterium in April 1970.

The swimming repertoire of a bacterium is limited to two modes: «running» - in which the cell proceeds along as straight a path as rotational diffusion would allow, and «tumbling» - during which the cell is re-oriented to a new, randomly chosen direction. Spells of swimming are interrupted every few seconds by acts of tumbling which last for about a tenth of a second. The change in direction is too abrupt to be attributed to the Brownian motion of the bacterium, which means that the flagella remain active during a tumble. Berg's observations can be summarized with commendable brevity: In a uniform medium, *E. coli* describes a three-dimensional random walk, making no net progress in any particular direction. I am tempted to quote D'Arcy Thompson (1):

> While the Brownian movement may thus simulate in a deceptive way the active movements of an organism, the reverse statement also to a certain extend holds good. ... One might see the same thing in a crowded market-place, always provided that the bustling crowd had no *business* whatsoever. ... Again the same phenomenon may be witnessed under the microscope, in a drop of water swarming with Paramoecia or such-like Infusoria; and here the analogy has been put to a numerical test. ... The phenomenon is (of course) merely analogous, and by no means identical

with the Brownian movement; for the range of motion of the little active organisms, whether they be gnats or infusoria, is vastly greater than that of the minute particles which are passive under bombardment; . . .

Let us then return to *E. coli* and see how it swims when it does have a *business*. If a chemical known to attract the bacterium is added to the chamber so that its concentration is higher on one side than on the other, the «walk» ceases to be random: when the bacterium moves up the concentration gradient, the probability of a tumble becomes smaller than the value pertaining to a uniform solution; when it moves down the gradient, the probability of a tumble equals that in a uniform solution. Other parameters of the walk do not change. Thus the bacterium gradually *drifts up the gradient* by increasing the length of the runs that take it in the favourable direction; this net migration along the concentration gradient accounts for the phenomenon known as *chemotaxis*.

The behaviour of *E. coli* does not look entirely businesslike: Why, if things are getting worse on going down the concentration gradient, doesn't it stop sooner? It is anybody's guess; an intriguing suggestion has been advanced by E. M. Purcell in a lecture published, after some editorial retouches, in the *American Journal of Physics* (2).

★ ★ ★

About ten years ago, Berg and Andersen proposed that bacteria swim by rotating their flagella like propellers, not by waving them - a suggestion that gained immediate support from a triology of papers (3).

The first paper describes experiments in which Silverman and Simon, whom I have already mentioned, used 'polyhook' mutants of *E. coli,* which carry two mutations, one in the *hag* gene which prevents the formation of the filament and another in the *flaE* gene which causes the loss of a function necessary to terminate the assembly of the hook structure. These cells make continous polyhooks which can be 1-2 μm long and are nonmotile. However, when dilute anti-polyhook antibody* was added to a suspension of these cells (which had abnormally long hooks and no filaments), they formed clumps and began to rotate rapidly. Several modes of behaviour were observed: once in a while one of the bacteria had its hook glued to the microscope slide and rotated at a constant angular velocity around an axis through one end of the cell body; the bacteria were bound to each other in pairs and counter-rotated, or one rotated while the other was stationary; large groups of bacteria were cross linked and rotated or moved jerkily. The speed of rotation of an individual cell varied from two to nine revolutions per second. The cells were seen to modulate their spinning in three ways: (a) by continuing to spin counterclockwise; (b) by stopping and then restarting in the same direction, or (c) by changing the sense of rotation and spinning clockwise. The cells generally spun counterclockwise, occasionally stopped or reversed the sense, and then resumed spinning counterclockwise.

In a second group of experiment, Silverman and Simon worked with a flagellated but nonmotile mutant carrying a mutation in the *hag* gene that results in the formation of straight filaments. When dilute antifilament antibody was added to the cells, they were tethered to the glass and to each other, and began to rotate in the same manner as the polyhook mutants.

In the above experiments, the rotation of the cells was observed, and that of the filaments only implied. To observe the activity of the filaments themselves, and - as it were - to clinch the argument, Silverman and Simon attached small latex beads, 0.7 μm in diameter and coated with antifilament antibody, to cells with straight filaments; beads were seen in tangential contact with, and rotating rapidly about, a fictitious line projecting from the surface of the cell (see fig. 2). In the same manner, beads could be attached to flagella on wild type bacteria and these too were seen to rotate rapidly, trailing behind motile bacteria. They concluded: «All these observations, taken together, can be explained best if the hook is driven in a rotary fashion, probably by a mechanism anchored to the cell body at the base of the flagellum. This results in the rotation of the flagellar filament. Furthermore, the cell has the capacity to vary the speed and direction of rotation as well as the frequency of stopping and restarting. The ability to modulate the rotation of the flagella may be basis for the mechanism of chemotaxis».

This proposal was taken up by the authors of the second part of the triology; Larsen, Reader, Kort

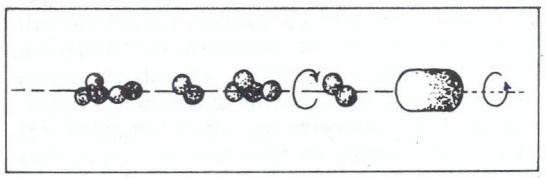


Fig. 2. Rotation visualized by coating microscopic beads with antifilament antibodies which link the beads to a filament of a mutant of *E. coli* that has straight filaments instead of the usual helical ones. The filament is not visible in the light microscope; the beads appear to be in tangential contact with a line projecting from the cell. They revolve around that line in one direction while the cell body rotates in the opposite sense. Now and again the beads slow down, stop, and then start up in the opposite direction; the cell body reverses its rotation synchronously.

* An antibody is a specialized protein capable of combining specifically with an antigen; when the antigen is present on the surface of a cell, the antigen-antibody reaction can lead to clumping of the cells. The name anti-polyhook antibody signifies the fact that the corresponding antigen is located in the polyhook.

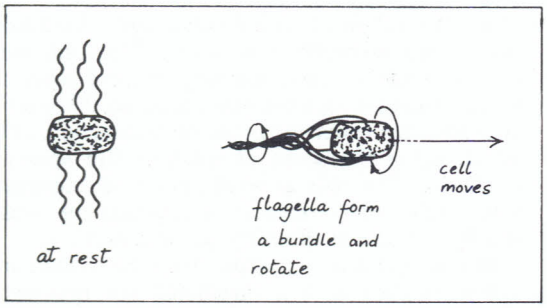


Fig. 3. Representation of flagellar movement in peritrichously flagellated bacteria.

Tso, and Adler used wild-type and chemotaxis-defective mutant cells of *E. coli* tethered to microscope slides (in a manner similar to that of Silverman and Simon), and stimulated them by sudden increases of chemotactic agents. In the absence of added attractants or repellants, rotation of tethered wild-type cells was biased to the counterclockwise (CCW) direction; CCW rotation of the cell body corresponds to CCW rotation of the flagellum if viewed along the helix axis toward the point of insertion in the cell. Changes in the direction of flagellar rotation were shown to be involved in chemotaxis by the following evidence: (1) Repellant additions caused clockwise (CW) rotation of wild-type cells, but mutants unable to respond to repellants in conventional tests for chemotaxis showed no significant change. (2) Attractant additions caused CCW rotation of wild type cells, and even reversed CW rotation induced by previous repellant addition; however, mutants with defective response to specific attractants showed no response, though they did respond to other stimulants. (3) The generally nonchemotactic mutants (unable to respond to any known chemicals) rotated only in the CCW direction, even after stimulation. (4) Mutants which tumble incessantly when suspended in chemotaxis medium almost always rotated CW. On the basis of this and much other evidence (that I have left out), they concluded that (i) tumbling occurs as a result of CW rotation of flagella, (ii) peritrichously flagellated bacteria swim by coordination of several helical filaments in a bundle behind the cell, and (iii) to obtain the thrust required for smooth swimming from CCW rotating filaments in a bundle, the helical sense of the filaments must be left-handed. The picture of swimming bacteria which emerged from their work is depicted in Fig. 3.

The two papers summarized above dealt with tethered bacteria; the authors relied on (their eyes and) high-speed microcinematography. Human nature being what it is, Berg could not resist the temptation of examining tethered bacteria through his tracking microscope, which is just as well for us, since a recorder trace is more cheaply printed than a half-tone photograph; Fig. 4 displays a typical trace.

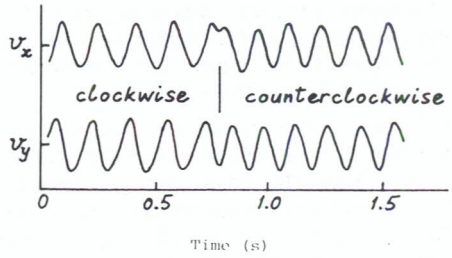


Fig. 4. The rotation of a polyhook mutant bound to the top window of the tracking chamber. The cell rotated clockwise at 6.2 rotations per second and then counterclockwise at 7.2 rotations per second. (The x velocity lags the y velocity for clockwise rotation but leads it for counterclockwise rotation; the phase shift is $\pi/2$.)

★ ★ ★

If one can observe, experiment, and theorize, the elements of a complete scientific enquiry are at one's disposal. The tracking microscope and the deft ways of molecular biology have used the first two items to formulate such a detailed answer to the question «How do bacteria swim?». To answer to the question «Why?», we need turn to theory. The action of waving cylindrical tails in propelling microscopic organisms was analyzed in 1952 by the well-known fluid dynamicist Sir Geofferey Taylor, who was adventurous enough to test his theory by building a model (Fig. 5) that could «represent on a very much larger scale the flagellum of a spermatazoon». He wrote (4):

> The model consists of an aluminium tube *a* fitted with end-pieces *b* and *c*. Wires *d* and *e* pass through these ends, and the bearing of *e* is bushed with a plastic at *f* to reduce the friction due to end-thrust of the collar *h*. The wire *e* is bent into the form of a long spiral. Rubber rings *g* are threaded on the hooks at the inboard ends of *d* and *e*; *d* is prevented from turning in the case *a* by the collar *p*, put *e* can be rotated so that the rubber rings are twisted. When the wire *e* is released the rubber rings untwist and cause it to rotate. In this condition the model obviously does not represent any living creature because the wire *e* rotates as a whole relative to the body *a*, a type of distortion which is impossible in a living organism. To get over this objection . . .

Fortunately, bacteria are in blissful ignorance of what is considered impossible by scientists. Taylor has, however, told us how to make a working mo-

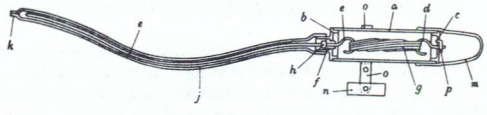


Fig. 5. Working model of swimming spermatozoon.

del of a bacterial flagellum; it is time to do some calculations, and buy some glycerine and rubber gloves. Why rubber gloves? To go back to Taylor's paper:

> . . . The experiments were performed by the author using rubber gloves, and the technique of keeping the glycerine pure and keeping it away from the hands and clothes was learned in the course of the work.

(1) D. W. Thompson, «On Growth and Form» (Cambridge University Press, Cambridge, 1969) pp. 46-47.

(2) E. M. Purcell, «Life at low Reynolds number», American Journal of Physics, Vol. 45, 1977, p. 3.

(3) M. Silverman and M. Simon, «Flagellar rotation and the mechanism of bacterial motility», Nature, Vol. 249, 1974, p. 73.
S.H. Larsen, R. W. Reader, E. N. Kort, W.-W. Tso, and J. Adler, «Change in direction of flagellar rotation is the basis of the chemotactic response in Escherichia coli», Nature, Vol. 249, p. 74.
H. C. Berg, «Dynamic properties of bacterial flagellar motors», Nature, Vol 249, p. 77.

(4) G. Taylor, «The action of waving cylindrical tails in propelling microscopic organisms», Proceedings of the Royal Society (London) Vol. A211, 1952, p. 225.

GOD FAGDIDAKTIKK

Kjell Mork

Poul Thomsen har tatt på seg en mektig oppgave. De to bøkene som her skal omtales er bare de første i en serie som vel vil måtte komme til å inneholde minst to bind til, i og med at han hittil bare har behandlet emnene mekanikk og varmelære. Thomsens siktemål er primært å lage en lærerveiledning til støtte for (den danske) undervisning i elementær fysikk, men bøkene er så vidtfamnende både i bredde og dybde at de naturlig kan anvendes også i andre sammenhenger. Han nevner selv lærerhøgskolenes fysikkundervisning.

Bøkene er organisert slik at hvert kapittel innledes med en faglig orientering. Det er forutsatt at leserne allerede har en faglig utdannelse, men orienteringen er så bred og grundig at den langt på vei er en lærebok. Lærere med svak faglig bakgrunn vil derfor opplagt finne den meget nyttig, men også velskolerte lærere vil ha adskillig å hente. Thomsen tar særlig hensyn til at faget nå skal overføres, ikke primært til leseren, men fra han, og denne synsvinkelen gjør fremstillingen spesiell.

Hoveddelen av bøkene er viet til stoffets behandling i undervisningen. Flere forskjellige metoder for å presentere faget fremlegges, og det gis en forholdsvis bred diskusjon om de forskjellige metoders kvaliteter, både ut fra faglige og pedagogiske hensyn. Veiledningen er altså ikke bundet til en bestemt lærebok, og en vesentlig del av dens styrke er nettopp at den kan tilby alternativer og nye veier til lærere som ikke er tilfredse med sin læreboks behandling av bestemte tema. Thomsen har ikke primært tilstrebet å gi en veiledning i undervisningens praktiske gjennomføring, men under omtalen av de forskjellige metoder drøfter han samtidig egnede forsøk. Han presiserer at det er viktig å klargjøre hva som er det spesifikke formål med hvert enkelt forsøk og så velge den variant som passer best, f.eks. også om det skal være demonstrasjon - eller elevforsøk.

Bøkenes rikdom på gjennomtenkte eksempler og forsøk er kanskje deres aller sterkeste side, særlig er dette tilfelle for bind 2, varmelæren. Her har Thomsen og medarbeider drevet et omfattende utviklingsarbeid (som forklarer tidsavstanden mellom de to bind) som har resultert i en rekke gode nye forsøk og apparater. Både disse nye - og tidligere kjente forsøk som presenteres er alle blitt omhyggelig utprøvet under betingelser som svarer til det en har i skolen, og veiledningen kan derfor også angi hvilke måleserier som i praksis kan forventes, hvilke usikkerheter som opptrer og hvor feilkildene ligger. Dette gir en meget verdifull støtte for den som skal vurdere et forsøks egnethet i en gitt sammenheng.

Thomsens bøker er primært skrevet for dansk skole, men de kan uten videre også benyttes i Norge. Det faglige innhold dekker stort sett innholdet i våre fysikkplaner i grunn- og videregående skole for tilsvarende emner. Imidlertid, innenfor en fagplans stikkordliste, kan en undervisning dekke mange elementer. Primært kommer faget fysikk, den innsikt vi i dag har i naturens fenomener og lovmessigheter med de tilhørende begreper og modeller, instrumenter og teknikker, matematiske og statistiske metoder. I tillegg kommer fysikken som del av det naturvitenskapelige verdensbilde og som naturvitenskapelig metode, som kulturform og historie. Videre er fysikken hjelpefag for andre naturfag, og den er basis for praktisk teknikk og teknologi. Det siste angår forståelsen av maskiner og apparater i alminnelig bruk, men det er også viktig for forståelsen av store deler av den økonomiske, sosiale og politiske utvikling. En fysikkundervisning kan legge større eller mindre vekt på disse forskjellige elementene. Tradisjonelt har en i skolen vesentlig behandlet faget fysikk, men det argumenteres nå for større vekt på den samfunnsmessige betydning og for en nærmere kontakt med det praktiske dagligliv. Et av motivene er at dette antas å kunne forbedre den aktuelle situasjon at mange elever oppfatter fysikk som irrelevant og vanskelig.

Thomsen legger i sine bøker definitivt hovedvekten på det fysikkfaglige, som naturlig er. I skolen bør en konsentrere seg om å bruke utstyr og (forhåpentlig en gang) kvalifiserte lærere til å støtte innlæringen av vanskelige ting, der hjelp er nødvendig. Stoff som de fleste lett kan lære på egen hånd, når interessen fins, må komme i annen rekke. Og fysikk er åpenbart et vanskelig fag. Fysik-

ken uttaler seg om naturfenomener, også slike som er kjent fra dagliglivet, men i et helt nytt språk. Selv vanlige ord får ofte en annen og fremmed mening, og fysikken oppdeler og organiserer naturfenomenene på en ny og uvant måte. De dagligdags kjente fenomener er nesten uten unntak meget kompliserte prosesser, sett fra fysikken, og det er først etter langs tids trening og erfaring at en lærer seg hvilke parametre som er viktige og hvilke effekter som kan neglisjeres. Først da blir orden og enkle lovmessigheter synlige. Fysikk er vanskelig fordi dens basisbegreper ikke kommer naturlig til oss, heller ikke basisproblemene.

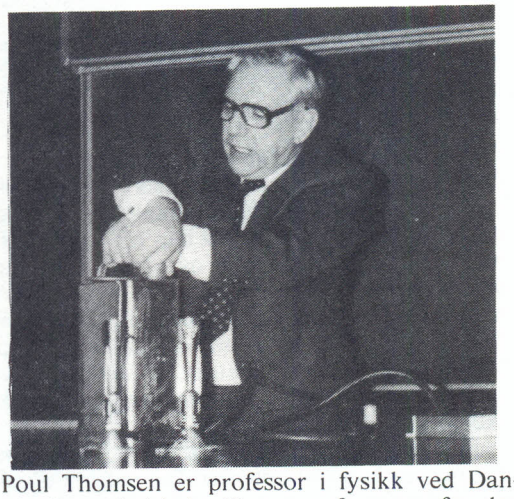
En konsekvens av at våre daglige erfaringer ikke naturlig leder til de fysiske basislovene, er at vi i fysikkundervisningen må gi elevene en ny erfaringsbakgrunn der fysikkens begreper inngår naturlig og direkte. Undertegnede anser dette for å være kanskje det viktigste formål med demonstrasjoner og forsøk, og Thomsens bøker gir her et rikt materiale. For øvrig trekker Thomsen inn dagliglivets fysikk og praktiske, tekniske anvendelser av fysiske lover der det er naturlig, men han presiserer at undervisningen ikke må utarte til bare å bli en slags apparatlære.

Thomsen diskuterer innledningsvis kort, men godt om fysikkforskningens mål og arbeidsmetoder. Han innskrenker imidlertid tradisjonelt fysikken til den livløse natur, noe som er misvisende med den meget aktive forskning som i dag drives i biofysikk. I bind 2 fins et godt kapittel om beskrivelse ved hjelp av modeller, fysiske som matematiske og relasjonen til en teori. Bruk av modellkasser i undervisningen virker meget interessant, og kanskje burde fysikkundervisningen legge mer vekt på alternative teorier og hypotesetesting og mindre på åpenbart overgeneraliserte induksjoner fra unøyaktige forsøk. Det er relativt lite historisk stoff i bøkene, og en kunne ønsket mer, men det er jo et plassproblem når alene mekanikk og varme allerede fyller nesten 700 sider.

Thomsens behandling av det faglige stoff er som nevnt preget av flere innfallsvinkler og gjennomtenkte forsøk. Flere enn undertegnede vil overraskes av påvisningen av at det gode gamle forsøk med blyhagl i papprør er ubrukelig til sitt formål. Ellers har Thomsen tatt konsekvensen av at vi lever i en atomistisk verden og bruker atomistiske ideer og modeller maksimalt. Dette gir ikke alltid den enkleste fremstilling i startfasen, men vil sikkert betale seg etter hvert. Han kan f.eks. gi entropi en skikkelig behandling som skulle kunne være forståelig på 3 Fy-nivå, men dessverre har vi jo ikke dette sentrale begrepet med i vårt kjernestoff. Ellers er det lite å innvende på den faglige fremstilling. Thomsen har de samme problemer som alle andre når begrepene kraft, tung- og treg masse, akselerasjon og inertialsystem skal defineres og forbindes, idet det synes umulig å holde en ren klassifikasjon av hva som må forstås intuitivt, eller er gitt ved definisjonsligning, eller følger av fysisk, empiriske ligninger. Ved behandlingen av heverten advarer Thomsen korrekt mot en forklaring som feilaktig bruker statikkargumenter på en dynamisk situasjon, men den alternative forklaring som gis, finner jeg pedagogisk uheldig. Ved innføringen av den potensielle energi kunne Thomsen med fordel ha diskutert valg av nullpunkt og derigjennom fått en naturlig forklaring på bindingsfenomener og atomenergi.

Fra mine kontakter med lærere sitter det igjen et bestemt inntrykk av at de først og fremst ønsker seg mer stoff som de forholdsvis direkte kan anvende i sin undervisning. Thomsens bøker burde være skattkister i denne sammenhengen, og vil ha sin naturlige plass på lærerværelsene i grunn- og videregående skole, og vel også i lærerhøgskolene. Og det er å håpe at Thomsen ikke vil trenge like lang tid på å fullføre de kommende bind slik at veiledningen snart kan foreligge komplett.

Poul Thomsen, Metoder og veje i den elementære fysikundervisning, bind 1, 365 sider (1969), bind 2, 328 sider (1983), Gyldendal forlag, København.



Poul Thomsen er professor i fysikk ved Danmarks Lærerhøjskole. Han var formann for den arbeidsgruppen som i årene 1977-79 utarbeidet retningslinjer for de fysikkundervisningsforsøk som skulle utføres i Spacelab. I årene 1972-79 var han president i GIREP (Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique), og er nå æresmedlem av organisasjonen. Fra 1979 har Thomsen vært dansk representant i Den rådgivende komite for fysikkundervisning i European Physical Society.

Han er medforfatter av ungdomsskole-fysikkverket Spørg Naturen som har hatt en enorm suksess i Danmark. Han har skrevet flere lærebøker og en rekke artikler om fysikkundervisning i forskjellige tidsskrifter. Fysisk institutt, NLHT, har nydt godt av han som sensor i skolerettet hovedfag i fysikk siden starten.

Brev fra leserne

Ad hjartesukk i FRA FYSIKKENS VERDEN nr. 3 - 83 om fysikkolympiade

Eg har sjølv prøvd å få RVO interessert i den internasjonale matematikkolympiaden utan å få respons. Dette er så mykje merkelegare når ein tenkjer på at RVO kvart år sender ut oppfordring til skolane om å delta i konkurranse i kjemi med tanke på den internasjonale kjemiolympiaden.

No veit ikkje eg om det er KUD eller RVO som sit på innbydingane til fysikk- og matematikkolympiadane. Så kan Norsk Fysisk Selskap gjera noko med dette, trur eg det er fleire enn eg som ville vera takksame.

Ragnar Dybvik

Har godkjenningsordningen for lærebøker i naturfag for grunnskolen spilt fallitt?

Det synes å være vanskelig å få godtatt lærebøker for bruk i grunnskolen innen naturfagene. Dette synes å være spesielt vanskelig når forfatterne tilhører «feil» fagmiljø her i landet.

Undertegnede med undervisningspraksis siden 1971 i naturfag på grunnskolens ungdomstrinn og høgskolelektor Jostein Knutsen har arbeidet noe tid med å oversette det danske læreverket «Spørg Naturen» til norsk. Til orientering kan det opplyses at det danske læreverket dekker ca. 80% av lærebokmarkedet i fysikk/kjemi på det danske ungdomstrinnet. Verket ble utgitt på slutten av 70-tallet og bygger på den danske læreplanreformen av 1976, tilsvarende vår læreplanrevisjon som kom med Mønsterplanen i 1974.

Før «Spørg Naturen» ble gjort til gjenstand for oversettelse, var verket bl.a. til vurdering hos en lang rekke pedagoger og fagfolk på ulike nivå i den norske skoleverket. En god del av de uttalelsene som ble avgitt, rådet forlaget til å foreta en del endringer, tilpasning av materialet til norsk kulturbakgrunn, endring av billedmateriale og nedkorting av lærestoffet. Ingen av de som uttalte seg frarådet utgivelse. For ordens skyld, dette gjelder også uttalelser fra realister som er/har vært knyttet til Skolelaboratoriet ved Universitet i Oslo.

På bakgrunn av de tilrådninger som er gitt av de sakkyndige oppnevnt av Grunnskolerådet, er det etter min mening nødvendig å rette oppmerksomheten mot følgende forhold:

Det synes å være en umulighet at én konsulent skal dekke hele 1-9 trinnet, eller at én konsulent skal dekke f.eks. 1-6 trinnet eller 7-9 trinnet. En konsulent skal dekke hele fagspektret innen naturfagene eller det pedagogiske spektret. I tillegg vil det være helt nødvendig at konsulenten kjenner til naturfagplanene for grunnkurs i de videregående skoleslagene. Årsaken til at dette trekkes fram her, er at de innvendingene som er fremført av de sakkyndige, forholdsvis lett kan tilbakevises ut fra fagplanene, Mønsterplanen og oppbyggingen av «Spørg Naturen». De sakkyndige har en umulig oppgave å ivareta på dette feltet.

I en av de sakkyndiges konklusjoner heter det bl.a. sitat «Jeg vet at bøkene ble godt mottatt i Danmark på 60-tallet. Men de er ikke i tråd med slik vi ønsker å presentere naturfaget på 80-tallet i Norge».

Dette sitatet viser med all tydelighet at vedkommende sakkyndige ikke har tilstrekkelig kjennskap til et av våre nabolands utvikling innen naturfagundervisningen. Hvordan kan da den sakkyndige være i stand til å gi en forsvarlig vurdering ut fra §6 pkt. d. i godkjenningsreglene for lærebøker, sitat: «at bøkene er á jour med de siste forskningsresultater på området».

Andre periode i den sakkyndiges konklusjon viser også med all tydelighet at det er *et bestemt syn* som skal være retningsgivende for naturfagbøker som skal utgis i Norge. Dette bestemte synet er ikke spesifisert nærmere i den sakkyndiges konklusjon. Hvem er «Vi» som ønsker å presentere naturfagene på en bestemt måte i Norge?

«Spørg Naturen» ble før utgivelsen i Danmark vurdert på meget høyt sakkyndig og faglig nivå i Danmark. De bøkene som har vært gjenstand for oversettelse og bearbeiding er utgitt i Danmark siden 1979 og fram til i dag.

Enkelte av de kapitlene som har vært kritisert av de sakkyndige har vært forelagt meget høyt kvalifisert personale ved NTH, Trondheim til vurdering. Vi sitter inne med skriftlige uttalelser som bekrefter at disse kapitlene er helt i samsvar med den internasjonale utviklingen innen realfagene.

Det er derfor betimelig, men nødvendig å stille spørsmålet: Har godkjenningsordningen for lærebøker i naturfag for grunnskolen spilt fallitt?

Gisle Rø

UNIVERSITY OF BRADFORD

Science in a Social Context (SISCON) Conference, 4.-5. August 1984. «Teaching Science as a Humanistic Discipline».

This two day conference at the University of Bradford is sponsored by several organisations to provide an overview of science education and society teaching in the United Kingdom.

Further details may be obtained from:

Professor Tom Stonier
School of Science and Society
University of Bradford
Richmond Road
Bradford
West Yorkshire
BD71DP

Applicants are advised to apply before 3. April 1984.

FYSIKK-KONKURRANSE-EKSPERIMENT I TRONDHEIM

Bakgrunn

Hvert år blir det i en rekke land arrangert nasjonale fysikkkonkurranser for gymnaselever. Disse konkurransene er også kvalifiserende for deltagelse i en tilsvarende internasjonal konkurranse. I Norge har vi hittil ikke hatt slike konkurranser i fysikk, men det har vært konkurranser i kjemi med god oppslutning og også deltagelse på internasjonalt plan.

Ved Fysisk institutt, NLHT, Universitet i Trondheim, har vi sett med interesse på de fysikk-konkurransene som blir arrangert i andre land, ikke minst for deres evne til å skape interesse for fysikk generelt og til å forbedre kontakten mellom universitet og videregående skole. Vi har derfor ønsket å undersøke responsen på konkurranser i Norge.

For å skaffe oppgaver og vurdering mot en større referansegruppe har vi søkt støtte i Sverige som har deltatt i både nasjonale- og internasjonale konkurranser i en årrekke, og i samarbeid med de svenske arrangørene har vi kunnet tilby norske elever å prøve seg på de svenske oppgavene.

Det svenske opplegget

Fysikk-konkurransen i Sverige er delt opp i to trinn: først en uttakingskonkurranse (i februar), deretter en finale (i mai). Uttakingskonkurransen arrangeres av det svenske «Fysikersamfundet» i samarbeid med Svenska Dagbladet og Skolöverstyrelsen. Oppgaver blir sendt ut til alle interesserte gymnaser og elevene får på en bestemt dag 6 timer på seg til å løse dem skriftlig. Oppgavekonstruksjon, retting og vurdering skjer ved Fysiska institusjonen, Lunds Universitet. Det konkurreres individuelt og i skolelag. Ca. 15 av de individuelle deltagerne går til finalen.

Finalen er lagt til Stockholm og har en eksperimentell del som blir utført på Fysisk institutt, Stockholms Universitet, og en del med teoretisk problemløsning som blir gjennomført i Svenska Dagbladets lokaler. Finalekonkurransens oppgaver publiseres i Kosmos, Svenska Fysikersamfundets årsskrift. Der publiseres også oppgavene fra de internasjonale konkurransene.

Kostnadene for arrangementene dekkes fra forskjellige kilder; en donasjon ligger til grunn, men Svenska Dagbladet yter betydelige beløp i form av verdifulle priser etc., og de overnevnte fysiske institutene bidrar med arbeidsinnsats.

Forsøket i Trondheim

Fysisk institutt, UNIT/NLHT, har takket være velvilliig samarbeid med nabolandet fått disponere de svenske nasjonale oppgaver og rette- og vurderingstjenesten (en særlig takk til L. Silverberg og S. Avellén, Fysiska institusjonen, Lunds Universitet). Vi har i to år tilbudt elever ved de videregående skolene i Trondheim å prøve seg på oppgavene under samme betingelser som i Sverige, bortsett fra at de fikk en oversettelse av de mest typiske svenske ord og uttrykk.

Det første året deltok 8 elever, det andre året 11. Resultatene var svake første året, sannsynligvis fordi lærere og elever var ukjente med konkurransens natur. I år var resultatene klart bedre, omtrent som en normal svensk skole, opplyste en av retterne, og anbefalte at beste besvarelse ble premiert. Dette skjedde med et årsabonnement på 'Fra Fysikkens Verden'.

Konklusjon

Det er naturligvis ikke mulig å trekke noen endelige konklusjoner av vårt lille, foreløpige materiale, men inntrykket er at både elever og lærere har vært positive overfor ideen om en konkurranse. De svenske oppgavene har tatt opp aktuelle tema og har oftest vært pedagogisk vellykkede, men de har vært noe vanskelig for norske elever i og med at de ikke har vært tilpasset norske skolepensa. Enkelte oppgaver går for øvrig noe ut over det regulære pensum også i Sverige.

Vår umiddelbare konklusjon er at fysikk-konkurranser i Norge skulle kunne ha flere positive effekter, styrking av kontakt mellom skole og universitet, stimulering av fysikklærere og elever, bidra til mer informasjon om fysikk, økt interesse og rekruttering til faget, støtte til de ganske mange som liker å arbeide med fysikkproblemer på dette nivå. Gjennomført på den riktige måten er konkurransen også gøy og uhøytidelig pedagogikk.

Det er neppe noen grunn til å vente at oppslutningen om en eventuell norsk fysikk-konkurranse skulle bli særlig mindre forholdsvis enn oppslutningen om konkurransen i Sverige (1400 deltagere i 1981). Men om en stor del av de norske videregående skoler kommer på deltagerlisten, vil en konkurranse være et omfattende og kostbart arrangement som vil kreve støtte fra mange hold.

Victor Francis Hess

24. juni 1983 kunne 100 års dagen for nobelprisvinneren Victor Francis Hess fødsel feires. Hess ble født i Waldstein i Østerrike og fikk sin fysikkutdannelse i Graz fra 1901 til 1905. Han ble så assistent ved det fysiske institutt ved Akademie der Wissenschaften i Wien. Her hadde han kjente fysikere som St. Meyer og F. Exner som lærere, mens andre kjente forskere som K. W. F. Kohlrausch og E. Schrödinger også arbeidet ved instituttet. Forskningsarbeidet gikk ut på å måle radioaktivitet og luftelektrisitet i atmosfæren.

I 1910 og 1911 sendte den tyske fysiker Albert Gockel først i Zürich og senere i Bern et oppladet elektroskop med ballong til over 4000 meters høyde. Målingene viste at elektroskopet ble utsatt for like mye stråling som ved jordoverflaten. Strålingen kunne derfor ikke stamme fra radioaktive stoffer på jorden. I løpet av diskusjonen om muligheten for eksistensen av kosmisk stråling, kom Hess på den idé å foreta ballongforsøk i store høyder for å påvise den kosmiske stråling. Et slikt tiltak var ikke helt selvfølgelig da det blant fagfolk var stor skepsis. Enkelte fysikere så på en kosmisk stråling som ren fantasi. Ja, ved universitetet i Graz ble det sogar holdt en disputas som «beviste» at kosmisk stråling var umulig.

7. august 1912 foretok Hess med ionisasjonskammer sitt ballongforsøk til 4000 meters høyde. Forsøket påviste uten tvil den kosmiske stråling. Året etter foretok Werner Kohlhörster et nytt ballongforsøk til 9000 meters høyde. Strålingen her var åtte ganger så stor som ved jordoverflaten. Til tross for denne entydighet, forstummet ikke tvilerne og kritikerne. Bare i en liten forskerkrets vakte oppdagelsene noe senere anerkjennelse. Først i midten av tyveårene ble det alment klart at det ikke gikk an å komme forbi målingene til Hess og Kohlhörster. Sammen med R. W. Lawsson bestemte Hess i 1918 med stor nøyaktighet antall alfapartikler pr. sekund som ble emittert fra et gram radium.

I 1920 ble Hess professor i Graz og arbeidet videre med den kosmiske stråling. Han utførte også forsøk over den biologiske virkning av radioaktiv stråling. I tidsrommet 1921-1923 var Hess direktør for U.S. Radium Corporations forskningslaboratorium i New Jersey.

W. Bothe og W. Kohlhörster påviste i 1929 at den kosmiske stråling var partikler mens man tidligere trodde at strålingen var en gammastråling. I tiden 1931-1937 var Hess professor i Innsbruck der han i 1931 bygget et laboratorium i stor høyde på fjellet Hafelekar. Hess satte i gang et intensivt forskerarbeid. For første gang ble det foretatt målinger som viste hvordan den kosmiske stråling varierte med tiden, luft-trykket og temperaturen. Dessuten ble breddeeffekten undersøkt. Målingene hadde meget å si for å forklare sammenhengen mellom strålingsendringer, forandringer på solen og jordmagnetiske variasjoner. I mange år var naturen med den kosmiske stråling eneste kilde for høyenergipartikler. På den måten hadde målingene til Hess stor betydning for beslektede grener i fysikken.

I løpet av tredve- og førtiårene ble det påvist et stort antall elementærpartikler i den kosmiske stråling. I 1932 oppdaget C. D. Anderson positronet, og Hess mottok sammen med Anderson Nobelprisen i 1936.

Hess reiste tilbake til Graz i 1937, men måtte av politiske grunner forlate landet i 1938 og dro til Fordham University i New York i USA der han hadde sin nye arbeidsplass inntil 1952.

Victor Francis Hess døde 18. desember 1964 i Mount Vernon i USA.

G.A.

NYTT FRA INSTITUSJONENE

Hovedfagsstudenter i fysikk ved Universitetet i Tromsø for tidsrommet 1981-1983:

Karl E. Egge: Fotometri og analyse av formørkelser i kontaktbinærstjerner (1982)

Torbjørn Eltoft: En teoretisk vurdering av fasesynkron radar for estimering av D-lags parametre (1981)

Ruth Esser: Radiostråling fra magnetiske pekuliære stjerner (1981)

Åshild Fredriksen: Utbredelse av elektron Bernsteinbølger i inhomogent magnetfelt (1983)

Marianne Foss: Elektronkorrelasjon, med spesiell vekt på parteorier og metoder hvor E_{ij} inngår eksplisitt i tilstandsfunksjonen (1981)

Harald Johnsen: Evolusjonen av en lav-energetisk ionestråle i et plasma (1981)

Roger Johnsen: Kvadraturdetektor for ionosonde. Design av digitale korrelasjonsmottakere (1983)

Gunn Karlstad: Elektronplasmabølger i et plasma med to elektrontemperaturer (1983)

Jørgen Leiknes: Pekuliære A-stjerners innfangning av interstellare støvkorn (1982)

Unni Pia Løvhaug: Modellstudier av plasmatransport fra den øvre polare ionosfære: Polar vind (1983)

Victor Nilsen: Digital billedbehandling av NOAA/AVHRR-satelittdata (1982)

Jan P. Pedersen: Om atmosfærens effekt på infrarøde satellittmålinger av havets overflatetemperatur (1982)

Åge Skøelv: Ionestrålediagnostikk ved hjelp av elektronmettet plan Langmuir-probe (1981)

NORSK FYSISK SELSKAP

Nye medlemmer opptatt på styremøtet 7. oktober 1983:

Vit.ass. Lars Bugge, Fysisk Institutt, Boks 1048, Blindern, Oslo 3.
Fysiker John Haugen, Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller.
Forskningsassistent Bjarte Haugsdal, Kjemisk Institutt, C, Boks 1033, Blindern, Oslo 3.
EDB-sjef Ola Marius Johnsen, Universitetet i Tromsø, Boks 635, 9001 Tromsø.
Høgskolelektor Norvald Midttun, Sjøkrigsskolen, 5034 Ytre Laksevåg.
Forsker Terje Tjelta, Televerkets Forskningsinstitutt, Boks 83, 2007 Kjeller.

Studentmedlem:

Rune Asgeir Madsen, Studpost Rosenborg, 7055 Dragvoll.

Bøker

T. T. S. Kuo og S. S. M. Wong (eds.): Topics in Nuclear Physics, I og II. A Comprehensive Review of Recent Developments. Lecture Notes for the International Winter School in Nuclear Physics held at Beijing (Peking), The People's Republic of China, December 22, 1980 - January 9, 1981. Lecture Notes in Physics, Vols. 144 & 145, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1981. 567 & 511 sider. Pris heftet DM 59.00 pr. bind.

I de siste år har det foregått en sterk satsing på naturvitenskap i folkerepublikken Kina, og fysikk danner intet unntak. Det har vært holdt en rekke konferanser og skoler, og mange fremtredende vitenskapsmenn fra den vestlige verden har besøkt landet.

De foreliggende to bind inneholder forelesningene fra en tre ukers skole i kjernefysikk som ble holdt vinteren 1980/81. Skolen samlet hele 300 deltagere, og foreleserne var stort sett kinesiske vitenskapsmenn fra USA og Canada. De fleste forelesningene ble da også holdt på kinesisk, men er heldigvis trykt på engelsk. Foreleserne er alle velkjente fysikere, og de har gitt en meget god og detaljert innføring i aktuelle emner innenfor moderne kjernefysikk.

Bind I omhandler grunnleggende emner som to-nukleon-vekselvirkningen (C. W. Wong og K. F. Liu), skallmodellen og statistisk spektroskopi (S. S. M. Wong), mange-partikkel teorier for effektive vekselvirkninger (T. T. S. Kuo) og svake og elektromagnetiske vekselvirkninger i atomkjernen (H. C. Lee og W. K. Cheng). Bind II følger opp med en del nyere emner fra kjernestruktur og kjernereaksjoner, som «cluster»-teorier (Y. C. Tang), vekselvirkende bosoner (A. Arima), «backbending»-fenomener (A. Faessler), nye multipol-resonanser (C. C. Chu), tung-ione reaksjoner (Q. K. K. Liu og C. M. Ko), kjerner langt fra stabilitet (J. K. P. Lee) og anvendelsesområder for små akseleratorer (N. Cue).

Bøkene anbefales for kjernefysikere som ønsker å få en bred oversikt over utviklingen innenfor de nevnte områder.

Eivind Osnes

Eivind Hiis Hauge: Fysikk for elektro. Tapir 1983. 284 sider. Pris kr. 120,-.

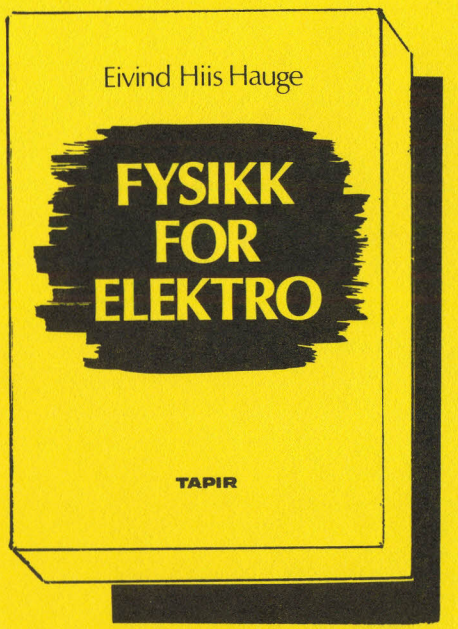
Denne boken er skrevet for elektrostudenter ved NTH og utgjør et kurs med et utvalg emner som ikke bare disse studentene, men også andre fysikkstudenter i dag bør ha kjennskap til. Med den betydning energi har i våre dager er det naturlig at termodynamikk og varmetransport har fått en viktig plass i boken. Utviklingen av moderne elektronikk og datateknikk har medført at det er tilsvarende behov for en innføring i kvantemekanikk og statistisk mekanikk. Disse fire emnene utgjør da hovedtyngden i boken. I tillegg kommer en kort orientering om bølger og et «førstehjelpskurs» i sannsynlighetsregning. Kurset er også ment å omfatte regneøvelser som ikke er med i boken. Derimot er de fleste avsnittene forsynt med spørsmål som skal inspirere studentene til litt ekstra tankevirksomhet.

Kurset virker meget godt planlagt, og selv om det nok er krevende, er fremstillingen lagt opp med sikte på å lette forståelsen best mulig. Ikke minst bidrar den muntlige formen til det. Emner som kan virke abstrakte, slik som den klassiske termodynamikken, er belyst med eksempler. De ulike former for varmetransport behandles både teoretisk og med praktiske anvendelser. Kvantemekanikken er gitt en bølgemekanisk fremstilling og innføres på en måte som skal få den til å virke minst mulig mystisk for en nybegynner. Etter de tradisjonelle eksemplene som finnes i alle innføringskurs i kvantemekanikk ender det hele opp med en bølgemekanisk beskrivelse av elektroner i en krystall. Da er også betydningen av begrepene bosoner og fermioner presentert, og den blir ytterligere understreket i kapitlet om statistisk mekanikk. Der blir så det viktige temaet om elektroner i faste stoffer mere inngående behandlet slik at det tydelig fremgår hvor viktig både kvantemekanikk og statistisk mekanikk er for å forstå de elektriske egenskapene ved disse stoffene.

Kort sagt er dette et kurs bygget opp av tradisjonelle emner med et innhold som skal tjene dagens studenter.

Trygve Grotdal

NYHET!



284 sider
kr. 120,–

TAPIR

Utgiverpoststed: 7034 Trondheim - NTH.

Norsk Fysisk Selskap

Formann: Dosent E. Osnes, Fysisk Institutt, Universitet i Oslo.

Styre: Dosent R. S. Sigmond, NTH, Trondheim.
Amanuensis Noralv Bjørnå, Universitetet i Tromsø.
Førstelektor T. Engeland, Universitetet i Oslo, Blindern.
Førstelektor K. Myklebost, Universitetet i Bergen.

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett, Fysikkavdelingen,
Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller.

Postgirokonto: 5 88 38 89.
Bankgirokonto: 5102.20.16001.

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Høgskolelektor Knut Jostein Knutsen
Granlivn. 24, Ugla, 7000 Trondheim
Førsteamanuensis Hans Kolbenstvedt
Fysisk institutt, NLHT,
Universitetet i Trondheim, 7055 Dragvoll

Redaksjonssekretær:
Lab.ing. Halvard Torgersen, Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Høgskole, 7034 Trondheim-NTH.

Redaksjonskomite:
Førsteamanuensis Ove Bratteng, Nordlysobservatoriet, 9000 Tromsø.
Førsteamanuensis Alf Halsteinslid, Fysisk institutt, Universitetet i Bergen, 5014 Bergen.
Førsteamanuensis Kjell Mork, Fysisk institutt, NLHT, Universitetet i Trondheim, 7055 Dragvoll.
Forsker Jan Myrheim, NORDITA, NBI, Blegdamsvej 17, 2100 København Ø, Danmark.
Forskningsstipendiat Svein Sjøberg, Skolelaboratoriet, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, Oslo 3.
Forsker Olav Steinsvoll, Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller

Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 50,00. Årsabonnement for studenter og skoleelever kr. 25,-.

Sekretær:
Gudrun Græsmann.

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk Institutt, Universitetet i Trondheim
Norges lærerhøgskole
7055 Dragvoll

Postgirokonto: 5 10 47 24
Bankgirokonto: 8601.36.12279

N.T.H.-Trykk
Trondheim